PEACC

San Luis Potosí

Programa de Acción Ante el Cambio Climático

agenda ambiental
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

SLP
GOBIERNO DEL ESTADO
SECRETARÍA DE ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

La elaboración del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de San Luis Potosí 2006 estuvo a cargo de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí a través de Agenda Ambiental.

Dr. Pedro Medellín Milán Director del proyecto.
Dr. José Antonio Avalos Lozano Director Técnico del proyecto.
Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda Asesor principal del proyecto.

Versión preliminar

PEACC

San Luis Potosí

Programa de Acción Ante el Cambio Climático

Informe Final del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de San Luis Potosí. Segunda y última etapa.

1. Datos Generales:

Título del proyecto: Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de San Luis Potosí.
Clave del proyecto: SEMARNAT-108120.
Nombre del responsable técnico: Dr. Pedro Medellín Milán.
Sujeto de apoyo: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

2. Resumen del Proyecto:

Se realizó el inventario estatal de gases de efecto invernadero (IEGEI), 2000 y 2006. Las emisiones totales en SLP fueron: 136 211 Gigagramos (Gg) de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2 e). El sector Energía (E) produjo 79 351,6 Gg CO_2e (58%). Agricultura (Ag) aportó 30 353 (22%). Y los procesos industriales (PI), 15 709 (11,5%). La tendencia de crecimiento de emisiones es mayor para E y PI, y de continuar el rumbo, esta última se convertirá en el segundo emisor. Se generaron 78 961,1 Gg CO_2e de Bióxido de Carbono; 273,5 de Óxido Nitroso; y 116,9 de Metano. Se cartografiaron los GEI por municipio: en Villa de Reyes se generan 29% de las emisiones de E, en San Luis Potosí, 20,5%, y en cuatro municipios huastecos, 36%. El 59% de las emisiones de CO_2 de PI se libera en Tamuín, seguido por San Luis Potosí con 18%. Se realizó el primer balance de energía de SLP (2000-2006). La demanda total fue de 958,9 PJ, la generación de energía pública demandó el 29,9%; la industria el 26,0%; y el transporte el 24,7%. El combustóleo pesado cubrió el 37.5% de la demanda; las gasolinas, 15,2%; el coque de petróleo, 13,5%; el diésel, 9,9%; el gas natural, 6,6%; el Bagazo de caña, 6,4%; el gas LP, 5,8%; y la leña, 4,8%. Villa de Reyes tiene la principal demanda de energía con, 30,5%; San Luis Potosí, 25%; Ciudad Valles, 13,1%; y Tamuín, 12,9%.

En SLP, los escenarios de cambio climático (ECC) de corto plazo (2010-2040) indican aumentos en temperatura de 0,75 a 1,00 ^{o}C; y los de largo plazo (2070-2100), aumentos de 2,75 a 3,0 ^{o}C (A2) y de 1,5 a 1,75 ^{o}C (B2). Para los ECC de precipitación a corto y largo plazo la dispersión y la incertidumbre son mucho mayores que la señal. Los ECC no son pronósticos, son experimentos de sensibilidad del clima al incremento en el forzante radiativo global; pero el clima es resultado de la respuesta de la atmósfera a diversos forzantes; y a escala local, el asociado con el cambio del uso de suelo (CUS), puede ser más importantes que el forzante radiativo. Por esta razón, se utilizó una aproximación de “abajo hacia arriba” para estimar los potenciales impactos del cambio climático, basada en la respuesta histórica de diferentes sociosistemas al Clima (modelos que consideran la vulnerabilidad). En SLP operan forzantes climáticos regionales internos como las oscilaciones decadales y externos como los CUS, 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: 76% en Serranías Meridionales (SME), 62,5% en la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO), 50% en la Sierra Madre Oriental (SMO), 46,15% en la Planicie Occidental (PO), 44,44% en la Llanura de Rioverde (LLRV), y 42,85% en la Bóreo Central (BC). Por razones obvias, la evapotranspiración potencial (ETPo) ha aumentado en forma similar (69,23% en SME; 57,14% en la BC; 46,15% en la PO); el comportamiento de la pp y la ETPo, han influido en el índice de Aridez (Ari), que aumentó en diversas estaciones, en todas las regiones, en el 80% de la BC; en el 75% de la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO); en el 53,85% de la Planicie Occidental (PO). Se ha determinado que la variabilidad de la pp en SLP es extraordinaria, en el 52% de las EC en los años lluviosos hay de 4 a 10 veces más precipitación que en los secos, esta relación se incrementa en el 13% de las EC 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. El régimen mensual de precipitación, temperatura máxima y mínima y evapotranspiración se está modificando en gran parte del estado. Por ejemplo, la precipitación de mayo está disminuyendo en forma estadísticamente significativa en el 60% de las localidades de la PCNO; en el 57,14% de las EC de SME; y en el 43,33% de las localidades en la SMO.

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

En los últimos 30 años se documentan diverso 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. El índice de aridez aumentó en diversas zonas, probablemente debido a la disminución de la pp mensual en mayo y diciembre, y/o al aumento en la Tx, causando aumento en la evapotranspiración, y disminución de la disponibilidad de agua. Si sólo se considera el ensamble de los ECC en la Región Hidrológica El Salado, por ejemplo, la disponibilidad de agua a largo plazo será de 219,1 m^3/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.

3. Resultados de la Investigación

3.1 Metas y objetivos alcanzados

3.1.1 Se construyeron un conjunto de bases de datos derivadas del estudio del *estado del arte* de la Investigación sobre el cambio climático en San Luis Potosí, las bases de datos incluyen investigadores, investigaciones realizadas en los últimos años, recursos institucionales, humanos, técnicos, bibliográficos disponibles.

3.1.2 Se realizó el inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) de San Luis Potosí, en los 58 municipios del estado, para los sectores: Energía, Procesos Industriales y Uso de Solventes, Agricultura y USCUSS (Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura) y Desechos. Los Gases de efecto invernadero (GEI) incluidos en el inventario fueron: Dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO_2). Las emisiones se contabilizaron por cada GEI, así como en unidades de CO_2 equivalente (CO_2 e)[1]. El período de estimación fue 2000-2006.

El IEEGEI de San Luis Potosí fue realizado con un enfoque “de abajo hacia arriba” (bottom-up), con esta aproximación las emisiones fueron calculadas a partir del inventario de cada una de las fuentes principales en el estado, y no de los datos nacionales agregados. Para este fin se construyeron nuevas bases de datos, producto de la investigación documental, de campo y de la aplicación de más de dos mil encuestas en el estado.

El IEEGEI se llevó a cabo bajo el marco conceptual y la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (PICC); de manera específica, las Guías utilizadas fueron: Las Directrices, versión 1996, Las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre, así como los Manuales de Referencia. En algunos casos, se utilizaron los factores de emisión de las Guías versión 2006; lo cual es apropiado, ya que las bases de datos incluían la cantidad de materias primas utilizadas en los procesos industriales más importantes, lo que permitió utilizar factores de emisión derivados de las cantidades de materias primas y no del volumen de producto.

---

[1] Concentración de CO2 que daría lugar al mismo nivel de forzamiento radiativo que la mezcla dada de CO2 y otros gases de efecto invernadero (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1995).

Las emisiones para los diferentes sectores fueron calculadas a partir de *datos de actividad* y *factores de emisión* calculados con diferentes metodologías, pero todas a partir del análisis de las fuentes locales.
El IEEGEI contiene como anexos:
El análisis de emisiones por contaminante y fuente de emisión y las bases de datos correspondientes.
Las bases de datos de emisiones de GEI para las categorías: energía (1); procesos industriales (2); disolventes (3); agricultura (4); uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) (5); y residuos (6).
Las Memorias de cálculo de las fuentes clave de emisión, incluyendo los parámetros utilizados para los cálculos.
Diagnóstico por fuente clave de emisión y alternativas de mitigación.
Informe sobre los procedimientos de control de calidad, aseguramiento de la calidad, y cálculo de la incertidumbre, así como el análisis y procesamiento de la información con base en la metodología del IPCC, 1996.
Escenarios de emisiones de GEI en fuentes clave, cálculo de la proyección de emisiones de GEI calculada a partir del análisis prospectivo de las tendencias hasta el año 2020. Base de datos de los escenarios de emisiones de GEI generados al 2010, 2020 que incluya los resultados bajo la consideración de un escenario tendencial. Subprograma de mitigación de emisiones de GEI, que incluya estrategias y opciones de mitigación para diferentes sectores.
3.1.3 Se realizó el primer balance de energía de SLP para el periodo 2000-2006. Se calculó la demanda total de energía en el estado para 2000-2006 y se representaron cartográficamente los flujos y consumos principales. Se identificaron los sectores de mayor demanda energética; los tipos y volúmenes de combustible utilizados para cubrir la demanda de energía estatal, incluyendo la de madera tradicionalmente subestimada. Se determinó la demanda energética por municipios. Se definieron las participaciones municipales en el consumo de energía eléctrica estatal.
3.1.4 Se realizó la regionalización de las Unidades de Gestión de Riesgos asociados al cambio climático, para el estado de San Luis Potosí, con base en las Unidades Geomorfológicas de (Rzedowski, 1966), corregidas con base en imágenes de satélite. Las regiones determinadas fueron: Planicie Costera Nor-Oriental; Sierra Madre Oriental; y Región Altiplano, que incluye las subregiones Llanura de Rioverde, Serranías Meridionales, Región Bóreo-Central, Planicie Occidental. Para cada región y subregión se delimitaron las diferentes subcuencas.
3.1.5 Se desarrollaron Escenarios de Cambio Climático para el estado de San Luis Potosí, a partir de la “reducción de escala” del ensamble de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) utilizados por el IPCC.AR4, con una resolución horizontal de 54 X 54 Km.
Los GCM fueron desarrollados considerando la opinión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013), los cuales afirman que los modelos numéricos, que representan los procesos físicos de la atmósfera, los océanos, la criosfera y la superficie de la tierra, son las herramientas más avanzadas disponibles en la actualidad para la simulación de la respuesta del sistema climático a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero.
Los GCM representan el clima usando una rejilla tridimensional sobre el mundo, por lo general con una resolución horizontal de entre 250 y 600 Km, de 10 a 20 capas verticales en la atmósfera y, a veces hasta 30 capas en los océanos. Su resolución es por lo tanto bastante gruesa con relación a la escala de las unidades de exposición en la mayoría de las evaluaciones de impacto (IPCC, 2013).
Si bien, se han utilizado modelos más simples para proporcionar estimaciones a nivel regional de la respuesta al cambio climático, los modelos más ampliamente utilizados han sido los GCM, casi siempre en combinación con modelos regionales anidados.
Para resolver su baja resolución se han utilizado técnicas de reducción de escala, que se pensaba podrían tener cierto potencial para proporcionar las estimaciones geográfica y físicamente coherentes del cambio climático regional que se requieren para analizar los impactos en San Luis Potosí (IPCC, 2013).
Para el estado de San Luis Potosí, Magaña y Caetano, (2007) realizaron la reducción de escala del ensamble de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) utilizados por el IPCC.AR4, usando una rejilla tridimensional sobre el estado, con una resolución horizontal de 54 X 54 Km. El proceso se efectuó utilizando la herramienta de predicción del Clima (CPT), que reduce la escala

mediante regresión por componentes principales (PCR) y análisis de correlación canónica (CCA). El CPT fue alimentado con las salidas de los GCM y los datos de la climatología local (con malla de regular resolución). Los resultados de los ensambles multimodelos para los escenarios: A2, A1B, COMMITED y B1, de corto plazo (2010-2040) y de largo plazo (2070-2100), para temperatura y precipitación, fueron cartografiados, después de ser procesados para suavizar las tendencias, de acuerdo a las curvas de nivel y a los parteaguas de las subcuencas.

Sin embargo, al intentar utilizarlos en las evaluaciones de impactos producidos por la variabilidad y el cambio climático, se encontraron algunas dificultades. Los Escenarios de Cambio Climático (ECC) fueron diseñados bajo la premisa que el forzante radiativo dependiente de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 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 GEI 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 criosfera –. Dado que tanto la concentración de GEI 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[2].

Adicionalmente, aunque los ECC son útiles para determinar tendencias regionales de la temperatura, tienen el problema de una alta incertidumbre, provocada 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, 2013). 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 GEI. 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 ECC. Además de las emisiones de los GEI, 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 (R. Pielke Sr., *et al*, 2009: 413).

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

3.1.6 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.

Se determinó el régimen intranual 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 1970-2000 y 1980-2010, para más de 164 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), 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 1980-2010, utilizando los datos de 105 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

[2] Descripción de un posible estado del mundo, coherente, internamente consistente y plausible (Parry y Carter 1998, citados por Magaña 2010).

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 105 estaciones climáticas utilizadas para el RA, los valores del Inverso de la tendencia del Índice de Humedad (invIH), para averiguar se 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 de acuerdo con Purcell et al. (2007), como la recta perpendicular a dicha pendiente, es decir: invIH=-1/mIH. Donde mIH es la tendencia del Índice de Humedad.

3.1.7 Se realizó la evaluación de vulnerabilidad[3] de los sectores estratégicos del estado.

En el presente estudio, siguiendo a Roger Pielke (2011), se utilizó una “alternativa robusta” a los GCM, basada en evaluaciones de vulnerabilidad que utilizan la respuesta histórica de los diferentes sistemas al Clima (modelos basados en las series de tiempo). La evaluación de la vulnerabilidad se basó en el paradigma de complejidad, un camino recomendable para avanzar en la comprensión de la influencia humana en el clima (Rial, et al, 2004). A partir de estas evaluaciones fue posible construir modelos de corto plazo, con una resolución fina, útiles para construir estrategias de adaptación y mitigación a la escala de las unidades de exposición en la mayoría de las evaluaciones de impacto. Estas nuevas herramientas permitieron resolver algunos de los problemas de la perspectiva científica dominante. Actualmente, la evaluación de riesgos producidos por el cambio climático, es de arriba hacia abajo (top down), se enfoca en el uso de modelos multidecadales, globales del clima, que consideran respuestas cuasi-lineales dominadas por la concentración de GEI en la atmósfera. Los resultados de estos modelos son 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, *et al*, 2011).

Sin embargo, el sistema climático es esencialmente no-lineal: las entradas y salidas no son proporcionales, el cambio es episódico y abrupto, antes que lento y gradual y los equilibrios múltiples son la norma. La comprensión sobre cómo se manifiestan en diferentes circunstancias las no-linealidades es pobre, y tampoco se entiende bien si ellas reflejan un sistema conducido por forzantes astronómicos, retroalimentaciones internas o una combinación de ambas.

Bajo el presente estado del conocimiento, no podemos incluir en los GCM: las erupciones volcánicas o los cambios de largo término en la radiación solar, posiblemente por esta razón, las predicciones multidecadales globales, son incapaces de simular algunos eventos principales de la circulación atmosférica como: la Oscilación Decadal del Pacifico, (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 (Roger A. Pielke, 2011: 6). Las proyecciones del PICC 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.

En particular, se concretaron los siguientes estudios:

---

[3] 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).

a. Vulnerabilidad de los paisajes, ecosistemas y servicios ecológicos de San Luis Potosí a la variabilidad y al cambio climático.
b. Vulnerabilidad de los recursos hídricos de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático.
c. Vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola a la variabilidad y el cambio climático.
d. Vulnerabilidad de la salud de la población a la variabilidad y el cambio climático.
e. Vulnerabilidad de los tecnoensambles (ciudades y su área de servidumbre ecológica) de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático.
f. Vulnerabilidad de las actividades económicas a la variabilidad y el cambio climático.

3.1.8 Se identificaron diversas estrategias autónomas de adaptación en el Corredor Biológico de la Sierra Madre Oriental (CBSMO), en esta región que incluye parte de la Planicie Costera Nor-Oriental, y la Sierra Madre Oriental. En esta zona se ha realizado un estudio de alta resolución de la vulnerabilidad y se probaron las nuevas metodologías determinadas para la evaluación de riesgos.

3.1.9 Se establecieron diferentes programas de adaptación y mitigación basadas en evaluaciones de vulnerabilidad que utilizan la respuesta histórica de los diferentes sistemas al Clima (modelos basados en las series de tiempo).

3.1.10 Se elaboró el programa estatal de acción ante cambio climático para el estado de San Luis Potosí (PEACC SLP) que incluyó los siguientes capítulos: a) Resumen ejecutivo. b) Programa de Acción ante el Cambio Climático. c) Estudios que soportan los diferentes subprogramas. d) Políticas de mitigación y adaptación ante el CC; visión de futuro, objetivos, alcances, plan de trabajo y distribución de tareas. e) Análisis de adecuación del marco institucional y legal estatal y elaboración de una propuesta de modificación que permita la instrumentación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Se establecieron las estrategias de planeación participativa (talleres, foros, seminarios, congresos, aplicación de cuestionarios, consulta pública de los subprogramas, políticas y estrategias) del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático.

Se elaboró la estrategia de presentación y difusión del Programa a la Sociedad

Se organizó un coloquio y tres cursos sobre cambio climático.

3.2 Contribución técnica del proyecto

3.2.1 El inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) de San Luis Potosí, representa un importante avance en el área de estudio. El enfoque utilizado "de abajo hacia arriba" (bottom-up) es innovador y permitió disminuir la incertidumbre y validar los resultados del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Por ejemplo, fue posible determinar que las emisiones de GEI de la industria de producción de hierro y acero, en San Luis Potosí, se habían sobrevaluado. El inventario estatal permitió evaluar la intensidad energética de diferentes procesos industriales (el gasto de energía/unidad de producción), estos datos, junto con el resto de los resultados de alta resolución, geográficamente referenciados, desglosados por fuente, permiten la construcción de estrategias de mitigación más efectivas. Todos los apartados del PEACC pueden ser publicados.

3.2.2 El balance de energía de SLP, es el primero realizado en el estado, incluye las bases de datos y la cartografía de los flujos de energía, el consumo de energía por municipio y localidad, los sectores de mayor demanda energética; los tipos y los volúmenes de combustible utilizados por sector para cubrir la demanda energética. La información es básica para la construcción de un programa estatal de gestión energética; para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación del sector energético se identifican áreas de oportunidad para disminuir la intensidad energética, incluyendo el diseño de estufas que consumen leña, consumo tradicionalmente subestimado.

3.2.3 El análisis de alta resolución de la variabilidad climática en San Luis Potosí comprende un periodo de más de 100 años, 1900-2010. Además de ser el más completo realizado hasta el día de hoy, es el que presenta menor incertidumbre, ya que el primer paso del análisis fue la reconstrucción, homogenización y análisis de las series de tiempo de datos climáticos. El análisis fue realizado con dos escalas de resolución diferentes, pero el componente local de alta resolución fue el más importante, las dos escalas se utilizaron para construir la línea base macroregional y la microregional.

Para el análisis de línea base macroregional se utilizaron los datos de Méndez y Caetano (2007), disponibles en: *International Research Institute for Climate and Society* (IRI) http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UNAM/.gridded/.monthly/.v0705/, estos datos cubren el periodo 1901-2002, se representan en una malla de resolución 0,5 grados X 0,5 grados (52 km X 52 km); Las fuentes de datos se basaron en los datos diarios por estación de la pp, temperatura máxima (Tx) y temperatura minima (Tn), del *CLICOM* y en los datos mensuales del *Global Historical Climatology Network (GHCN) version 2*. Se utilizó esta serie de tiempo de 101 años, aunque es de baja resolución, porque se buscaba identificar la posible existencia de oscilaciones de baja frecuencia, estas manifestaciones de la variabilidad climática deben ser identificadas, pues son una fuente de ruido en los ejercicios de atribución. El análisis presenta claramente oscilaciones decadales que posiblemente tienen gran influencia sobre el clima regional en las diferentes regiones geomorfológicas del estado. Un descubrimiento mucho más interesante y relevante es el comportamiento contrastante de las sequias entre la parte oeste y la parte este de San Luis Potosí. El análisis de la sequía meteorológica para un periodo de 101 años, fue realizado utilizando el índice de sequía denominado *Índice Estandarizado de Precipitación* (SPI, por sus siglas en ingles), creado por McKee, *et al* (Galván, 2011), para este caso se utilizó el SPI 12, adecuado para sequias persistentes.

los regímenes intranuales de precipitación, temperatura máxima y mínima, evapotranspiración potencial e índice de humedad, realizados para cada unidad geomorfológica del estado, para el periodo 1980-2010, fueron el insumo fundamental para el análisis de línea base microregional, a partir de la cual se construyó la climatología de alta resolución de San Luis Potosí, y su cartografía. Los datos se obtuvieron de 167 estaciones climáticas. Los mapas de contornos de los elementos del clima (pp. Tx, Tn) se afinaron utilizando las unidades geomorfológicas y la distribución potencial de la vegetación realizada por Rzedowski (1966). A partir de los resultados obtenidos se identificaron sitios donde es conveniente instalar estaciones meteorológicas para cubrir completamente al estado.

El análisis de variabilidad climática interanual e intranual para cada unidad geomorfológica del estado de San Luis Potosí, determinado de 1980-2010; con los datos de 167 estaciones localizadas en el estado; la determinación del Régimen de Aridez (RA) y el Índice de Humedad, para el mismo periodo; la evaluación de la variabilidad interanual en la precipitación y las anomalías, con respecto al modelo de Conrad (1941); son los estudios de mayor resolución realizados en el estado hasta la fecha. Las tendencias calculadas son la base para los análisis de vulnerabilidad de los sectores estratégicos. Se calculó y cartografió 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.

El análisis de alta resolución de la variabilidad climática en San Luis Potosí contiene información relevante que puede ser publicada en revistas especializadas y presentada en congresos, simposios y foros.

3.2.4 Los escenarios climáticos empleados para realizar la evaluación prospectiva de los impactos producidos por la variabilidad y el cambio climático se construyeron utilizando una aproximación de "abajo hacia arriba", basada en la respuesta histórica y especifica de diferentes sociosistemas 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 ECC basados en los GCM se utilizaron para evaluar las tendencias regionales de la temperatura, inicialmente se determinaron las tendencias regionales de ondas de calor, tormentas, valores medios, extremos, etc., y posteriormente se compararon con los ECC, para evaluar cuales coinciden (en un sentido de ensamble) con las tendencias de las décadas recientes. Los escenarios climáticos, adicionalmente contienen información relevante que puede ser publicada en revistas especializadas y presentada en congresos, simposios y foros.

3.2.5 La evaluación de vulnerabilidad de los sectores estratégicos del estado inició con la construcción de una base de datos de los desastres climáticos y meteorológicos de las últimas seis

décadas, los desastres considerados son: sequías, heladas, granizadas, inundaciones fluviales y pluviales, nevadas, etc. Estas bases de datos se construyeron a partir de una revisión documental, hemerográfica y bibliográfica. Los desastres fueron analizados evaluando el impacto provocado, las condiciones de los sistemas blanco y del contexto, los forzamientos naturales internos y externos (por ejemplo, anomalías en la temperatura de superficie del mar tipo El Niño, erupciones volcánicas, variaciones solares, y forzamientos inducidos por el hombre tales como la composición cambiante de la atmósfera y el cambio en el uso del suelo). La importancia de esta fuente de información resulta una base extraordinaria para la construcción de modelos de vulnerabilidad.

Los resultados de las evaluaciones de vulnerabilidad de los sectores estratégicos del estado, son un insumo indispensable para la planeación en lo general, para el establecimiento de políticas públicas, para la protección de la salud y el ambiente, para la gestión del agua, para el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano. Adicionalmente contienen información relevante que puede ser publicada en revistas especializadas y presentada en congresos, simposios y foros.

3.2.6 La base de datos de las estrategias autónomas de adaptación, documentadas en el Corredor Biológico de la Sierra Madre Oriental (CBSMO), zona caracterizada por su extraordinaria agrobiodiversidad, desde el punto de vista del número de especies, combinaciones articuladas en sistemas agroecológicos y sistemas de producción tradicionales. Representa un avance importante en la Ciencia del cambio climático. La gran diversidad de especies es una adaptación a la variabilidad climática y se considera una fortaleza que permitirá la construcción de estrategias de gestión del riesgo ante fenómenos meteorológicos y climáticos, basados en la preservación y diversificación de las semillas y las técnicas y sistemas de cultivos y así asegurar diferentes agroecosistemas alternativos, con balances multiestables basados en la biodiversidad y la diversidad cultural.

3.2.7 El programa estatal de acción ante cambio climático para el estado de San Luis Potosí (PEACC SLP) establece un conjunto de propuestas de políticas, estrategias de adaptación y mitigación, programas de gestión de riesgos meteorológicos y climáticos (evaluación, manejo comunicación, monitorización), obtenidos en forma participativa a través de talleres, foros, seminarios, congresos, y la aplicación de cuestionarios y consultas públicas.

3.3 Productos de la investigación

3.3.1.- Se realizó el inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) de San Luis Potosí, en los 58 municipios del estado, según las Guías Revisadas de 1996, para los sectores: Energía, Procesos Industriales y Uso de Solventes, Agricultura y Desechos.

El IEEGEI incluyó los GEI: Dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) y óxido nitroso (N2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO2). Las emisiones se contabilizan por cada GEI, así como en unidades de CO2 equivalente (CO2e). El período de las estimaciones de GEI fue 2000-2006.

El inventario se estimó bajo un enfoque de arriba hacia abajo (bottom-up), en el que las emisiones fueron estimadas con base en la investigación de las fuentes emisoras principales en el estado.

Las emisiones totales en SLP, durante el período 2000-2006, fueron: 136 211 Gigagramos (Gg) de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2 e). La contribución del sector energía (E) fue la más importante con 79 351,6 Gg CO_2e (58%). Agricultura (Ag) aportó 30 353 (22%), principalmente debido a la fermentación entérica y al estiércol. Y el sector procesos industriales (PI), 15 709 (11,5%).

La tendencia de crecimiento de emisiones es mayor para E y PI, y de continuar el rumbo, esta última se convertirá en el segundo emisor.

Durante el periodo de estudio se generaron 78 961,1 Gg CO_2e de Bióxido de Carbono, siendo la fuente principal la generación de energía pública con el 28,2% del total. En lo referente al Óxido Nitroso se generaron 273,5 Gg de CO_2e de, siendo su principal emisor la industria con el 36,7% de las emisiones. En el estado se emitieron 116,9 Gg CO_2e de Metano, siendo la Industria, por el uso de combustible, el principal generador con el 40.8% de las emisiones.

Se cartografiaron las fuentes principales de GEI por municipio: en Villa de Reyes se generan 29% de las emisiones de E, en San Luis Potosí, 20,5%, y en cuatro municipios huastecos, 36%. El 59% de las emisiones de CO2 de PI se libera en Tamuín, seguido por San Luis Potosí con 18%.

Se calculó la incertidumbre para las estimaciones de las emisiones de GEI del inventario estatal. Los cálculos de incertidumbre son un elemento esencial de un inventario de emisiones, pero no

fueron utilizados para cuestionar la validez de las estimaciones realizadas, sino para identificar las áreas de oportunidad para mejorar la exactitud de los inventarios y orientar las decisiones sobre elección de la metodología del inventario (Penman & Habetsion, 1996)".

En las siguientes tablas se presentan los resultados del cálculo de incertidumbres del IEEGEI sector energía y procesos industriales, periodo 2000-2006 (porcentaje), que como puede observarse son adecuadas.

Periodo	Incertidumbre en tendencia de las emisiones totales estatales	Certidumbre en la tendencia de emisiones totales estatales
2000-2001	11,0%	89,0%
2000-2002	11,5%	88,5%
2000-2003	13,0%	87,0%
2000-2004	17,7%	82,3%
2000-2005	17,5%	82,5%
2000-2006	18,3%	81,7%

Categoría IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año (2006)	Incertidumbre de dato de actividad	Incertidumbre del factor de emisión
	Gg e CO2	Gg e CO2	Gg e CO2	%	%
Cemento	CO2	2 222 427,84	2 728 697,11	3,5	2
Cal	CO2	271 713,11	320 615,50	6,3	2
Piedra Caliza	CO2	65 311,71	54 732,33	4	2
Carbonato sódico	CO2	5 266,35	5 266,35	2	2
Vidrio	CO2	36 952,70	39 540,13	12	2
Química	CO2	2 494,62	2 497,75	8,6	2
Hierro y acero	CO2	58 271,71	61 791,32	7	3

Categoría fuentes principales IPCC	Incertidumbre combinada	Proporción de la incertidumbre combinada	Sensibilidad tipo A	Sensibilidad tipo B	Incertidumbre de la tendencia de los datos de actividad	Incertidumbre de la tendencia del factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia de la emisiones totales
	%	%	%	%	%	%	%
Cemento	4,03	3,42	0,017	1,0249	2,90	5,07	5,84
Cal	6,61	0,66	-0.003	0,1204	0,34	1,07	1,13
Piedra Caliza	4,47	0,08	-0.0090	0,0206	0,06	0,12	0,13
Carbonato sódico	2,83	0,005	-0,0004	0,0020	0,006	0,006	0,008
Vidrio	12,17	0,15	-0,002	0,0149	0,04	0,25	0,26
Química	8,83	0,007	-0,0002	0,0009	0,003	0,01	0,01
Hierro y acero	7,62	0,15	-0,003	0,0232	0,1	0,23	0,25

Considerando un escenario BaU (Business as Usual); esto es, considerando las tendencias de crecimiento estatal del Producto Interno Bruto del año 2000 al 2010, y ajustando con base al crecimiento poblacional proyectado, se considera que las emisiones de GEI en San Luis Potosí podrían alcanzar en 54 557 Gigagramos (Gg) de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2 e) para el año 2030.

3.3.2.- Se realizó el primer balance de energía de SLP para el periodo de estudio, 2000-2006.

La demanda total fue de 958,9 peta julios (pJ), *la generación de energía pública* demandó 287,1 pJ equivalentes al 29,9% del total; *la industria* 249,1 pJ lo que representa el 26,0%; y *el transporte* 236,7 pJ, el 24,7% de la demanda; el cuarto puesto lo ocupa *la generación de energía privada* con un 9,7% del total de la energía o su equivalente en 93,3 pJ; le sigue *el sector doméstico* con una demanda energética de 81,3 pJ, el 8,5% de la demanda total; por último, tenemos al sector agrícola con una demanda energética de 6,8 pJ y el sector comercial con 2,5 pJ, y su porcentaje de la demanda total es 0,7% y 0,3% respectivamente.

Analizando los datos finales por tipo de combustible se encontró que el combustóleo pesado cubrió el 37,5% de la demanda de energía en San Luis Potosí, 359,5 pJ, siendo su principal consumidor la generación de energía pública. Las gasolinas cubrieron el 15,2%, equivalente a 145,4 pJ. El coque de petróleo cubrió el 13,5%, 129,7 pJ. El diésel alcanzó el 9,9%, 95,1 pJ. El gas natural, 6,6%, 63,5 pJ. El Bagazo de caña, 6,4%, 61,7 pJ. El gas LP, 5,8%, 55,7 pJ. La leña, 4,8%, 46,1 pJ. El gas LP y la leña son los combustibles de mayor uso doméstico. Por último tenemos el combustóleo ligero que genero 2,2 PJ (0,2%) durante el periodo de estudio.

En cuanto a la demanda energética por municipios, Villa de Reyes tiene la principal demanda de energía, 292,2 pJ equivalentes al 30,5% de la demanda (por la Central Termoeléctrica). Le sigue San Luis Potosí con 240,1 pJ, es decir el 25%. Ciudad Valles, tuvo una demanda de 125,2 pJ equivalentes a 13,1%, como consecuencia de la actividad cañera de la región. Tamuín presentó una demanda de 123,7 equivalentes al 12,9% de la demanda estatal, siendo la generación de energía publica el principal sector demandante. El resto de los municipios componen el 18,5% de la demanda y su participación individual no rebasa el 3%, por lo tanto tenemos es posible concluir

que en cuatro municipios de San Luis Potosí, donde se están desarrollando más del 80% de las actividades que demandan energía en forma intensiva en el estado.
El consumo de energía eléctrica muestra que la capital del estado durante el periodo de estudio consumió el 40,5% de la demanda total lo cual en MWh es igual a 12 842 345,8 debido principalmente a la concentración industrial. Ciudad Valles consumió 7 784 016,5 MWh (25,1%) de la demanda total y Tamuín 2 469 123,8 MWh (8,0%), estos tres municipios constituyen el 74,6% de la demanda total de electricidad.
3.3.3.- Se desarrollaron Escenarios de Cambio Climático para el estado de San Luis Potosí, a partir de la "reducción de escala" del ensamble de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) utilizados por el IPCC.AR4, con una resolución horizontal de 54 X 54 Km. Magaña y Caetano, (2007) realizaron la reducción de escala del ensamble de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) utilizados por el IPCC.AR4, usando una rejilla tridimensional sobre el estado, con una resolución horizontal de 54 X 54 Km. El proceso se efectuó utilizando la herramienta de predicción del Clima (CPT), que reduce la escala mediante regresión por componentes principales (PCR) y análisis de correlación canónica (CCA). El CPT fue alimentado con las salidas de los GCM y los datos de la climatología local con malla de regular resolución. Los resultados de los ensambles multimodelos para los escenarios: A2, A1B, COMMITED y B1, de corto plazo (2010-2040) y de largo plazo (2070-2100), para temperatura y precipitación, fueron cartografiados, después de ser procesados para suavizar las tendencias, de acuerdo a las curvas de nivel y a los parteaguas de las subcuencas.
En SLP, los escenarios de cambio climático (ECC) de corto plazo (2010-2040) indican aumentos en temperatura de 0,75 a 1,00 ^{o}C; y los de largo plazo (2070-2100), aumentos de 2,75 a 3,0 ^{o}C (A2) y de 1,5 a 1,75 ^{o}C (B2). Para los ECC de precipitación a corto y largo plazo la dispersión y la incertidumbre son mucho mayores que la señal.
3.3.4.- Se concluyó el análisis de alta resolución de la variabilidad natural climática en San Luis Potosí, para un periodo de 109 años, 1901-2010.
El análisis fue realizado con dos escalas de resolución diferentes, pero el componente local de alta resolución fue la parte del estudio que se trabajó en forma más detallada, las dos escalas se utilizaron para construir: la línea base macroregional, la microregional y el estudio de tendencias históricas de las series de tiempo de datos climáticos.
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. El análisis permitió registrar oscilaciones decadales que posiblemente tienen gran influencia sobre el clima en las diferentes regiones geomorfológicas del estado, particularmente en las húmedas. Aunque los ciclos son similares, ciclos de anomalías negativas y positivas de pp en periodos aproximados de 20 años, existe un comportamiento diferente de los ciclos de precipitación entre la parte oeste y la parte este de San Luis Potosí, divididas por la Sierra Madre Oriental. El análisis de la sequía meteorológica para un periodo de 101 años, realizado utilizando el SPI12 muestra que para la SMO y la PCNO, el ciclo de anomalías positivas de pp de 1980-2000 tiende a ser más pequeño, incluso no significativo X< 0,5. En la Región Altiplano esta disminución en las anomalías positivas del ciclo no es tan clara.
B.- El segundo análisis de variabilidad climática realizado fue el de línea base microregional, basado en los datos de 167 estaciones localizadas en el estado, para el periodo de 1980-2010. Se determinaron, para cada unidad geomorfológica del estado, las distribuciones de frecuencia de datos y los regímenes intranuales 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 fundamental del análisis microregional es la climatología de alta resolución (cartografiada) de San Luis Potosí. Los mapas de contornos de los elementos del clima (pp. Tx, Tn) se afinaron utilizando las curvas de nivel que separan a las unidades geomorfológicas y la distribución potencial de la vegetación realizada por Rzedowski (1966).
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.
En Planicie Costera Nor-Oriental, Sierra Madre Oriental, Llanura de Rioverde (LLRV) y Sierras Meridionales (SME) se observan dos máximos bien marcados de pp uno en julio o junio y uno en septiembre, pero el periodo de disminución en la pp 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 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; 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.
En San Luis Potosí los meses con las Tx más altas corresponden a los de primavera y verano, particularmente el mes de mayo, cuando las Tx alcanzan valores superiores (promedio mensual) superiores a los 32°C, en la PCNO, el piedemonte de la SMO y en la LLRV, en general las temperaturas máxima, en verano, disminuyen de este a oeste.
Los meses con las Tx menores son los correspondientes al otoño e invierno, particularmente enero.
Las Tn alcanzan sus valores más altos en la primavera, principalmente en junio, encontrándose los valores menores para esa estación en la Sierra de Catorce. 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. Para la SMO y la PCNO, 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 que cuando se presentan valores menores a 5°C se traduzca en una helada.
La caracterización línea base microregional se completó con la determinación y cartografiado, para el periodo de 1980-2010, del Régimen de Aridez (RA) y el Índice de Humedad (HUI, por sus siglas en ingles).

Régimen de Aridez	Condiciones	Porcentaje de la superficie del estado
Xérico	12 meses secos e Ia < 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

Un resultado importante fue la determinación de la variabilidad interanual en la precipitación (Vr) y las anomalías, con respecto al modelo de Conrad (1941), para 153 estaciones, en el periodo 1970-2010, 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 Vr 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 observadas.

iii.- Las anomalías incrementan del oriente al poniente, claramente asociadas a la aridez. La importancia de esta relación no debe ser subestimada, en la zonas de mayor aridez no sólo llueve menos la variabilidad en la pp es mucho más grande, por consiguiente los organismos que habitan el sitio deben tener curvas amplias de tolerancia.

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,

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.

C.- El último estudio realizado fue el análisis de las tendencias climática para el periodo 1980-2010. Claro que el periodo marco de análisis para el estudio de línea base macroregional fue el de 1901-2010, pero para el estudio de tendencias se consideró conveniente concentrarnos en las últimas tres décadas (mismo periodo de estudio del estudio de línea base microregional), aunque sin perder de vista las oscilaciones de baja frecuencia determinadas, para el caso de la SMO el periodo de anomalía positiva comprendido de 1980-2000 fue muy débil, en comparación con otros periodos; en cambio, en el Altiplano la anomalía positiva aunque se redujo no lo hizo tan drásticamente.

Los resultados muestran que la interpretación de las tendencias de cambio no puede ser hecha simplemente en términos de cambio climático global. Este primer ejercicio de atribución, aunque simple, indica que los cambios del clima regional pueden estar influidos por oscilaciones de baja frecuencia, posiblemente relacionadas con la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO por sus siglas en ingles) y la Oscilación Decadal del Pacifico (PDO por sus siglas en ingles); y, como se demostrará después, a un nivel local e incluso regional ciertas tendencias parece mostrar una relación con los cambios en el uso de la tierra (los factores asociados que se tomaron en cuenta para evitar la colinealidad fueron la humedad del suelo y la cobertura vegetal) y por tanto, un ejercicio correcto de atribución requiere considerar forzantes de carácter local.

Considerando que la interpretación de los escenarios de cambio climático regional debe ser hecha en términos de ejercicios de sensibilidad, pero nunca como si se tratase de pronósticos; se decidió que los ECC basados en los GCM, producto de la primera parte de la investigación, se utilizaran exclusivamente para evaluar las tendencias regionales de la temperatura. Inicialmente se determinaron las tendencias regionales de ondas de calor, tormentas, valores medios, extremos, etc., y posteriormente se compararon con los ECC, para evaluar cuales coinciden (en un sentido de ensamble) con las tendencias de las décadas recientes. En todo caso, los escenarios deben dar una idea de cómo lo que se define como amenazas climáticas pueden verse alteradas en un clima global más caliente, pero considerando siempre que existen otros procesos climáticos que podrían llevan el clima regional en una dirección opuesta a la que los escenarios globales apuntan.

En resumen, los resultados del análisis de tendencias sugieren que el clima en San Luis Potosí se ha modificado en los últimos treinta años de diversas maneras. Las tendencias interanuales en la precipitación (pp) son contrastantes (aumento y disminución) y localizadas territorialmente, por ejemplo en la SMO la pp aumentó en Ciudad Valles, en el Pujal Coy, en el centro y oeste de la

Sierra Madre Oriental, en la Sierra Cucharas, en Picacho del Bejuco y Sierra La Colmena, la misma variable disminuyó en las localidades de San Antonio del Mezquite, Santo Domingo; Chapulhuacanito, Tamazunchale; Tlamaya, Xilitla; Tanzabaca, Tamasopo; El Naranjo. La temperatura máxima se ha incrementado significativamente en gran parte de los sitios (76% en SME, 62,5% en la PCNO, 50% en la SMO, 46,15% en la PO, 44,44% en la LLRV, 42,85% en la BC); por razones obvias la ETPo ha aumentado en forma similar (69,23% en SME; 57,14% en la BC; 46,15% en la PO); el comportamiento de la pp y la ETPo, han influido en el índice de Aridez (Ari), que aumentó en diversas estaciones, en todas las regiones, en el 80% de la BC; en el 75% de la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO); en el 53,85% de la Planicie Occidental (PO).

Los resultados demuestran que la variabilidad de la pp en SLP es extraordinaria, en el 52% de las EC en los años lluviosos hay de 4 a 10 veces más precipitación que en los secos, esta relación se incrementa en el 13% de las EC de 10 a 1000 veces). Además se ha demostrado que en la medida que la aridez aumenta la variabilidad en la pp se incrementa. 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.

El régimen mensual de precipitación, temperatura máxima y mínima y evapotranspiración se está modificando en gran parte del estado. Por ejemplo, la precipitación de mayo está disminuyendo en forma estadísticamente significativa en: el 60% de las localidades de la PCNO; en el 57,14% de las EC de SME; y en el 43,33% de las localidades en la SMO. Es curioso que los campesinos de todas las regiones habían notado este fenómeno de corrimiento del periodo de lluvias (en prácticamente todas las entrevistas realizadas se comentó que el inicio del periodo de lluvias se había corrido un mes).

3.3.5.- Se realizó la evaluación de vulnerabilidad de los sectores estratégicos del estado. La cual inició con la construcción de una base de datos de los desastres climáticos y meteorológicos de las últimas seis décadas, los desastres considerados fueron: sequías, heladas, granizadas, inundaciones fluviales y pluviales, nevadas, etc. Las bases de datos se construyeron a partir de una revisión documental, hemerográfica y bibliográfica.

El segundo paso fue la construcción de escenarios climáticos de corto plazo (25 años), para realizar la evaluación prospectiva de los impactos producidos por la variabilidad y el cambio climático. Se construyeron utilizando las tendencias de datos climáticos y su relación con fenómenos: físicos, biológicos, económicos y sociales; y la vulnerabilidad de los diferentes sistemas socioambientales.

Estas variaciones en el clima han afectado los cultivos y la dinámica de los ecosistemas.

En los últimos cuatro años el equipo responsable de la investigación registró, en sus trabajos de campo, diversos procesos que se han presentado en los últimos treinta años en la PCNO y en el barlovento de la SMO: disminución de la humedad en el suelo; cambios en los ciclos de cultivo, principalmente en el inicio de periodo de siembra; alteración de los procedimientos de producción agrícola; menor productividad del maíz blanco y chulo; alteraciones en la fenología de frutales (floración temprana); Cambios en el área de distribución de la yuca (*Manihot esculenta*), del banano manzano y del plátano macho *Musa x paradisiaca* L. (grupo AAB macho y grupo AAB Manzano); del café *Coffea arabica* L.; del tabaco, de la sandía y melón; lichi, y del pasto estrella, desaparición del maíz, sietemesino, colmillo de caballo. Propagación excesiva de *Sabal mexicana* y otras pirófitas. Variaciones en la producción primaria neta de acahuales, con el consiguiente aumento del periodo de recuperación de los suelos en descanso. Cambios en las variedades de maíz utilizadas en diferentes pisos altitudinales, aumento de producción de criollo amarillo y disminución de blanco y chulo, propios de climas más templados y húmedos.

Originalmente los fenómenos considerados en el párrafo anterior fueron asociados con la disminución en la precipitación, los campesinos de las comunidades aseguraban que la precipitación había disminuido en toda la Huasteca (SMO y PCNO), pero el porcentaje de estaciones donde se presentó una disminución estadísticamente significativa de la pp anual apenas alcanzó el 10%, para el periodo de 1980 a 2010; al considerar que la Tx aumentó en el 50% de las estaciones de la SMO y en el 62,5% en la PCNO, arrastrando a la ETPo (que se incrementó en el 47,36% de las estaciones de la SMO), las observaciones empezaron a tener sentido. Pero no fue sino hasta la realización de un análisis más fino cuando pudo armarse el rompecabezas, en los últimos treinta años en la Huasteca están ocurriendo cambios clave en la variación mensual de la pp, la cual disminuyó en el 43,33% de las EC de la SMO y en el 60% de

las localidades de la PCNO para el mes de mayo, al considerar que este mes es el de mayor temperatura máxima, resulta claro que en gran parte del territorio se presentó un aumento del estrés hídrico en la vegetación y cultivos. Por otro lado, en diciembre disminuyó la pp en el 43,33% de las estaciones; este hecho tuvo grandes implicaciones, Rzedowski (1966: 39) observó que en todo San Luis Potosí llueve más en enero o en diciembre que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias, este pico de lluvia invernal es de importancia extraordinaria ya que sobreviene en la época más seca de la región, tanto las formaciones vegetales como el segundo ciclo de cultivo de la milpa dependen de este aumento en la pp, por esta razón, la disminución del pico invernal es especialmente deletérea desde el punto de vista ecológico.

En la PCNO, en la PO, y en la BC también se han encontrado fenómenos parecidos.

Es posible que estos cambio en la pp y en la Tx mensual expliquen el proceso de aumentó del Ari, principalmente en la BC (80%), PCNO (75%) y PO (54%), en estos sitios se han documentado procesos de sucesión posiblemente asociados a la aridización, por ejemplo la substitución de la selva baja caducifolia por pastizales, en la PCNO; de los pastizales por palmares de *Sabal mexicana* (una verdadera plaga en los potreros de la Huasteca); y de pastizales por matorrales rosetófilos y micrófitos en la BC. En la Sierra de Catorce en la BC los autores han documentado: propagación excesiva de madroño de Texas que invade los encinares, infestación de los pinos y encinos por paxtle y los muérdagos; alteraciones en la fenología de frutales, por ejemplo, floración temprana aguacates en Los Catorcitos, Catorce, en el sotavento de la Sierra de Catorce. En el Valle de San Cristóbal, se registraron cambios en el área de distribución del matorral micrófito, cambios en los ciclos de cultivo (inicio de periodo de siembra) y desaparición de las variedades criollas utilizadas en el Valle de San Cristóbal.

Considerando que los ECC de corto plazo (2010-2040), basados en los GCM, indican aumentos en temperatura de 0,75 a 1,00 ^{o}C y coinciden con las tendencias obtenidas, se construyeron escenarios basados en series de tiempo con proyecciones para los próximos 20-30 años. Estos modelos son extremadamente útiles en el corto plazo, cuando clima no es muy diferente de las condiciones actuales y las adaptaciones a los cambios en la distribución de frecuencias de datos son pequeñas. Más allá de este plazo, la extrapolación hacia el futuro de las relaciones entre variables observadas en el pasado pierde sentido, debido a los problemas de los modelos estadísticos como: la extrapolación del modelo más allá de los datos del rango de calibración; la suposición de estacionalidad, es decir la consideración de que – las relaciones entre variables observadas en el pasado también aplican en el futuro –; y finalmente el uso de modelos basados en las respuestas a variaciones de anuales del tiempo que son utilizados para predecir respuestas a cambios graduales en el clima (Lobell, 2010, págs. 95-97), confundiendo los eventos extremos y su efecto con los crónicos, obviando el efecto de cronicidad. Este último error provoca que los modelos normales de series de tiempo no incluyan los efectos a largo plazo, como una sucesión originada por un cambio en el régimen de aridez, tampoco incluyen la adaptación, por esta razón, se analizaron las variaciones en el régimen de aridez que son cambios climáticos graduales, los impactos que estos cambios tienen en la dinámica de los sistemas socioambientales y las adaptaciones a estos cambios. Los escenarios se basaron en las relaciones observadas entre las formaciones vegetales, los sistemas de producción agrícola y el régimen de aridez, en sitios específicos, en las últimas tres décadas, esta aproximación desde lo local permite considerar, indirectamente, la variabilidad en los suelos, sistemas de riego, semillas y técnicas y cambios en los usos de la tierra.

Para la construcción de los escenarios de cambio de corto plazo se utilizaron las EC en las que se detectó un cambio significativo estadísticamente del Ari. Los resultados son los siguientes:

En el 40% de las Ec el cambio de régimen de aridez se espera entre 0-10 años. En el 26,6% el cambio de régimen de aridez se espera entre 10-20 años. En el 6,6% el cambio de régimen de aridez se espera entre 20-30 años. En el 26,6% el cambio de régimen de aridez se espera en X> 40 años.

Se realizaron diversas correlaciones no-paramétricas Spearman entre los índices de cambio climático CLIMDEX basados en datos diarios de 69 estaciones climáticas y las tendencias de cambio en la cobertura vegetal y en la superficie ocupada por humedales en las áreas de influencia de las EC (círculos de 10 km de radio con la estación como centro) a escala 1:10 000. Los resultados fueron:

Correlación	N valida	R Spearman	T (N-2)	Valor p	Significancia
Pp total & Agua	59	-0.323927	-2.58497	0.012322	Significativo
Pp total & Cobertura	69	0.578280	5.80191	0.000000	Altamente significativo
Pp total & No-cobertura	69	-0.426589	-3.86069	0.000257	Altamente significativo
SU35 & Cobertura	69	-0.248485	-2.09980	0.039515	Significativo
SU35 & No-cobertura	69	0.284926	2.43307	0.017647	Significativo

Se encontró una correlación Spearman positiva altamente significativa entre la cobertura vegetal y la pp total

Se encontró una correlación Spearman negativa significativa estadísticamente entre cobertura vegetal y días al año con Tx mayores a 35°C.

En lo referente al sector agua, a partir del modelo basado en series de tiempo de corto plazo se infiere que la disminución en la precipitación, combinada con el aumento en la Tx, podrían ocasionar un aumento en la ETPo; lo cual generaría la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Estado, con un déficit promedio de 773,3, 1112,7 y 1421,6 hm^3/año a corto, mediano y largo plazo para la Región Hidrológica Pánuco y de 318,6, 414,6 y 499,2 hm^3/año para la Región Hidrológica El Salado, respectivamente. En cuanto a la disponibilidad de agua per cápita en el estado, se encontró que de mantenerse las tendencias de crecimiento poblacional actuales, se provocará 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 y a mediano y largo plazo dentro del rango de escasez absoluta de agua, de acuerdo a los niveles de estrés hídrico establecidos por la FAO (2012).

Se realizó un diagnóstico integral de salud construido a partir de los principales patrones espaciales y temporales de la morbilidad y mortalidad en estado de San Luis Potosí y su relación con las variables meteorológicas (Tx, Tn y pp). El estudio consideró 29 enfermedades de interés dada su relación directa o indirecta con los elementos climáticos utilizados. Las tasas de morbilidad y mortalidad fueron calculadas considerando un periodo de 15 años (1996-2011), a escala municipal. Los datos utilizados fueron proporcionados por los Servicios de Salud del Estado (2012). La información climática se obtuvo de 106 estaciones meteorológicas ubicadas en las cabeceras municipales y/o colindantes con las principales manchas poblacionales de cada municipio.

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 Kendall y Spearman. Los resultados demuestran relaciones significativas estadísticamente para varias enfermedades, las más relevantes son: mortalidad por anemia con días y noches calientes, con variaciones en la pp; morbilidad de enfermedades reemergentes como dengue clásico, dengue hemorrágico, tuberculosis y síndrome coqueluchoide, todas relacionadas con aumentos en la Tx, Tn y la pp; morbilidad de enfermedades de seguimiento y vigilancia epidemiológica como las infecciones intestinales, infecciones respiratorias agudas, asma y enfermedad de Chagas, relacionadas con diversas combinaciones de elementos del clima.

Se llevó a cabo una evaluación de vulnerabilidad aplicando el método de extracción de Componentes Principales, para identificar relaciones multivariadas entre los datos climáticos y determinantes sociales de la salud. Los resultados señalan que de la tasa acumulada de morbilidad para el total de las enfermedades en el Estado el 80% se pueden atribuir a las variables sociales y climáticas seleccionadas. Correspondiendo el 49% a las sociales y el 15% a las climáticas.

Se calculó un índice de vulnerabilidad, para los años 2000, 2005 y 2010, utilizando trece determinantes sociales y las condiciones de morbilidad identificadas, en los mismos años. Los resultados son para SMO y PCNO el 50% de sus municipios con “muy alta y alta vulnerabilidad”, y el 50% con “media y baja vulnerabilidad. En LLRV, el 8% de los municipios presentó una condición de “muy alta vulnerabilidad”, el 67% “vulnerabilidad media”, y 25% “baja vulnerabilidad”. En SME, el 91% de los municipios presentó “baja y muy baja vulnerabilidad”, y el 9% “vulnerabilidad media”. En la CC y PO, el 73% de los municipios tuvieron “baja y muy baja vulnerabilidad”, y el 27% tuvo “vulnerabilidad media”. Se evaluó en riesgo empatando la caracterización de las amenazas climáticas con el diagnóstico cuantitativo de vulnerabilidad, ambos a escala municipal, para el periodo 1996-2011, a partir de este análisis cualitativo 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. Los municipios de mayor vulnerabilidad son: 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; Ciudad Fernández, Ciudad del Maíz, Alaquines y Santa Catarina; de Santo Domingo, Villa de Ramos, Catorce, Villa de Guadalupe y Guadalcázar; y Villa de Reyes y Ahualulco.

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).

3.4 Formación de recursos humanos

A la fecha se ha graduado con presupuesto del programa.

José de Jesús Izaguirre Hernández, Licenciado en Geografía, de la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

Gustavo García Salazar, Licenciado en Geografía, de la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

MC Rocío Ballesteros, Maestra en Ciencias Ambientales, por el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

MC Nuria Vargas Huipe, Maestra en Ciencias Ambientales, por el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Por graduarse:

Ing. Georgina Olivo Menchaca, estudiante de maestría en Ciencias Ambientales, por el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Presentará su examen de grado el mes de septiembre de 2013.

MC María Teresa Gutiérrez Escajeda, estudiante de doctorado en Ciencias Ambientales, por el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Presentará su examen de grado el mes de septiembre de 2014.

MC Iván Napoleón Sánchez Carrasco, estudiante de doctorado en Ciencias Ambientales, por el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Presentará su examen de grado el mes de enero de 2014.

3.5 Colaboración interinstitucional y multidisciplinaria

En la realización del proyecto se conformó un equipo interinstitucional en el que participaron 4 facultades de la UASLP, el Instituto de Geografía de la UNAM, la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, La Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, la Delegación Regional del INEGI, y la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno de San Luis Potosí.

Los investigadores participantes, por dependencia, fueron:

Agenda Ambiental de la UASLP, Dr. Pedro Medellín Milán, Director del proyecto; Dr. José Antonio Avalos Lozano, Director Técnico del proyecto, coordinador del capítulo de variabilidad climática, paisajes, ecosistemas y agroecosistemas; Geóg. Gustavo Cruz Salazar García, MC Mario Cruz Gonzalez, Geóg. José de Jesús Izaguirre, responsables de la elaboración de la cartografía y los Sistemas de Información Geográfica; Ing. Agroecólogo Norma Quiroz Escandón, Ing. Químico Francisco Jesús del Muro Venegas, Geóg. José Silva García, responsables del análisis estadístico.

Instituto de Geografía de la UNAM, Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda, Asesor principal del proyecto y responsable de la construcción de escenarios de cambio climático; Dr. Ernesto Caetano participante en la construcción de escenarios de cambio climático; Dr. Gerardo Hernández Cendejas, responsable de cambio de uso de la tierra y cambio climático; MC Clemente López, participante en Modelación y análisis estadístico.

Facultad de Medicina CIACYT, de la UASLP, Dra. Gabriela Domínguez Cortinas, Coordinadora del capítulo Cambio Climático y Salud. MC Darío Gaytán Hernández, LCAS María de Lourdes Mendoza Flores, LCAS Viridiana del Carmen Robledo Valero, colaboradores del capítulo Cambio Climático y Salud.

Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la UASLP, Dr. Miguel Aguilar Robledo, colaborador del capítulo de Historia Ambiental.

Facultad de Ingeniería de la UASLP, MC Luz María Nieto Caraveo, responsable del capítulo de Diagnóstico y Caracterización de los sistemas socioambientales del estado de San Luis Potosí.

Facultad de Agronomía de la UASLP, Dr. Ovidio Díaz Gómez, responsable de plagas agrícolas y cambio climático.
Programa Multidisciplinario de Ciencias Ambientales de la UASLP, MC María Teresa Gutiérrez Escajeda, Ing. Georgina Olivo, MC Iván Napoleón Sánchez Carrasco, MC Carlos Joel Abrego Góngora, MC María de la Paz Medina Barrios, MC Guadalupe Urízar Navarrete: Coordinadores de los capítulos del IGEI del estado de San Luis Potosí.
Delegación Regional del INEGI, MC Mario Cruz Gonzalez, responsable del capítulo de tecnoensambles y cambio climático.
Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, MC Jorge Sarmiento asesor y auditor del IGEI del estado de San Luis Potosí.

4. Impacto de la investigación en los sectores usuarios

4.1 Productos de la investigación transferidos a los usuarios

4.1.1 El inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) de San Luis Potosí.
4.1.2 El balance de energía de SLP.
4.1.3 El análisis de alta resolución de la variabilidad climática en San Luis Potosí
4.1.4 Los escenarios climáticos de corto y largo plazo para el estado de San Luis Potosí basados en los GCM.
4.1.5 Los escenarios climáticos de corto plazo para el estado de San Luis Potosí basados las series de tiempo.
4.1.6 La evaluación de vulnerabilidad de los sectores estratégicos del estado. La evaluación de riesgo a la variabilidad y el cambio climático basados en el índice de riesgo climático.
4.1.7 La base de datos de las estrategias autónomas de adaptación.
4.1.8 El programa estatal de acción ante cambio climático para el estado de San Luis Potosí (PEACC SLP).

4.2 Mecanismos de transferencia utilizados

Seis talleres de transferencia (uno por cada región geomorfológica), dirigidos a actores clave.
Construcción del portal universitario de cambio climático. Que contendrá toda la información relevante sobre el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático.
Publicación de un libro.
Publicación de seis artículos en revistas indizadas; publicación de seis artículos en revistas de divulgación.

4.3 Beneficio potencial del proyecto

El beneficio social es enorme se dirige a la reducción de la vulnerabilidad de los ´más de 2 600 000 habitantes del estado. En particular, el 1 400 000 de mujeres; y los 500 000 seres humanos que viven en pobreza extrema y son amenazados por el cambio climático que ha sido perfectamente documentado en este estudio.
Se cuenta, por primera vez en la historia de San Luis Potosí, con un Atlas de Riesgo, que incluye la caracterización y distribución geográfica de las amenazas climáticas; y el diagnóstico cuantitativo y la distribución geográfica de la vulnerabilidad, ambos a escala municipal. A partir de este Atlas se han identificado 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. Los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal conocerán los municipios de mayor vulnerabilidad al cambio climático.
Se han realizado modelos que permiten identificar los sitios donde se presentan cambios climáticos graduales (aridización) y donde es más probable que se presenten fenómenos meteorológicos extremos. Se aportó información que permite construir una unidad de Alerta Temprana Ante Desastres Meteorológicos y Climáticos.
El beneficio económico es incuantificable.

4.4 Compromisos asumidos por los usuarios

Aprovechar la información contenida en el proyecto para la construcción del Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático PEACC.

4.5 Observaciones a la evaluación de los usuarios

Aún no se cuenta con las observaciones de los usuarios.

5. Aplicación de los recursos financieros

El Informe Financiero Final FONSEC-SEMARNAT S0010-108120, ha sido ya entregado y autorizado. Se anexa información de soporte.

6. Recomendaciones

6.1 Para la implantación de las acciones derivadas de la investigación

Se sugiere la socialización de la información obtenida en el proyecto de la propuesta del PEACC San Luis Potosí y la construcción del PEACC.

Se sugiere el establecimiento de un programa estatal de monitorización y alerta temprana de amenazas meteorológicas y climáticas.

Se sugiere la realización de los programas municipales de acción ante el cambio climático, particularmente en los siguientes municipios, debido a su alta vulnerabilidad: 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; Ciudad Fernández, Ciudad del Maíz, Alaquines y Santa Catarina; de Santo Domingo, Villa de Ramos, Catorce, Villa de Guadalupe y Guadalcázar; Villa de Reyes y Ahualulco.

6.2 Para la difusión de resultados

Usuarios Potenciales: La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), del Gobierno de México; El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de la SEMARNAT; La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del estado de San Luis Potosí; El Consejo Consultivo de Cambio Climático del estado de San Luis Potosí; la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM) del Gobierno de San Luis Potosí; la Secretaría de Desarrollo Social y Regional (Sedesore) del Gobierno de San Luis Potosí; los 58 municipios del estado de San Luis Potosí; La Dirección General de Protección Civil del estado de San Luis Potosí.

Informe final del proyecto "Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de San Luis Potosí"

Dr. Pedro Medellín Milán Director del proyecto.

Dr. José Antonio Avalos Lozano Director Técnico del proyecto.

Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda Asesor principal del proyecto.

Dra. Gabriela Domínguez Cortinas, Coordinadora del capítulo Cambio Climático y Salud. MC Darío Gaytán Hernández, Lic. En Ciencias Ambientales y Salud María de Lourdes Mendoza Flores, Lic. En Ciencias Ambientales y Salud Viridiana del Carmen Robledo Valero, colaboradores del capítulo Cambio Climático y Salud.

MC María Teresa Gutiérrez Escajeda, Ing. Georgina Olivo, MC Iván Napoleón Sánchez Carrasco, MC Carlos Joel Abrego Góngora, MC María de la Paz Medina Barrios, MC Guadalupe Urízar Navarrete: Coordinadores de los capítulos del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del estado de San Luis Potosí. MC Jorge Sarmiento asesor y auditor del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del estado de San Luis Potosí.

Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda responsable de la construcción de escenarios de cambio climático.

Dr. José Antonio Ávalos Lozano, MC Luz María Nieto Caraveo, Dr. Gerardo Hernández Cendejas, Dr. Ovidio Díaz Gómez, Dr. Ramón Jarquín Gálvez, Dra. Gabriela Domínguez Cortinas, MC Mario Cruz Gonzalez, MC Carlos Joel Ábrego Góngora, Geog. José de Jesús Izaguirre, Geog. Gustavo Cruz Salazar García, Ing. Agroecólogo Norma Quiroz Escandón, Ing. Químico Francisco Jesús del Muro Venegas, responsables del capítulo de Diagnóstico y Caracterización de los sistemas socioambientales del estado de San Luis Potosí.

Dr. José Antonio Ávalos Lozano, Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda, MC Carlos Joel Abrego Góngora, responsables del capítulo de variabilidad climática.

Dr. José Antonio Ávalos Lozano, Dra. Leticia Gómez Mendoza, responsables del capítulo variabilidad y cambio climático, paisajes, ecosistemas y servicios ecológicos.

Dr. Ovidio Díaz Gómez, Dr. Ramón Jarquín Gálvez, MC Clara Teresa Monreal Vargas, Ing. Agroecólogo Norma Quiroz Escandón, responsables del capítulo cambio climático y sistemas de producción agrícola.

MC María Teresa Gutiérrez Escajeda, Dr. José Antonio Ávalos Lozano, responsables del capítulo actividades económicas.

Dr. Jorge Alonso Alcalá, Dra. Gabriela Domínguez Cortinas, MC Mario Cruz Gonzalez, Dr. José Antonio Ávalos Lozano, Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz, Jáuregui, MC Mario Cruz Gonzalez, responsables del capítulo Tecnoensambles (Ciudades).

MC Carlos Joel Abrego Góngora, MC Mario Cruz Gonzalez, responsables del capítulo agua y cambio climático.

Dr. Gerardo Hernández Cendejas, Dr. Miguel Aguilar Robledo, Dr. José Antonio Ávalos Lozano, responsables del capítulo de Cambio de uso de suelo.

Responsables de la elaboración de la cartografía: Dr. Gerardo Hernández Cendejas, Geog. José de Jesús Izaguirre, Geog. Gustavo Cruz Salazar García, MC Mario Cruz Gonzalez.

Responsables de los análisis estadísticos y modelación: MC Clemente López Bravo, MC Carlos Joel Ábrego Góngora, Ing. Agroecólogo Norma Quiroz Escandón, Ing. Químico Francisco Jesús del Muro Venegas.

1 Resumen del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de San Luis Potosí

Se realizó el inventario estatal de gases de efecto invernadero (IEGEI), 2000 y 2006. Las emisiones totales en SLP fueron: 136 211 Gigagramos (Gg) de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2 e). El sector Energía (E) produjo 79 351,6 Gg CO_2e (58%). Agricultura (Ag) aportó 30 353 (22%). Y los procesos industriales (PI), 15 709 (11,5%). La tendencia de crecimiento de emisiones es mayor para E y PI, y de continuar el rumbo, esta última se convertirá en el segundo emisor. Se generaron 78 961,1 Gg CO_2e de Bióxido de Carbono; 273,5 de Óxido Nitroso; y 116,9 de Metano. Se cartografiaron los GEI por municipio: en Villa de Reyes se generan 29% de las emisiones de E, en San Luis Potosí, 20,5%, y en cuatro municipios huastecos, 36%. El 59% de las emisiones de CO_2 de PI se libera en Tamuín, seguido por San Luis Potosí con 18%. Se realizó el primer balance de energía de SLP (2000-2006). La demanda total fue de 958,9 PJ, la generación de energía pública demandó el 29,9%; la industria el 26,0%; y el transporte el 24,7%. El combustóleo pesado cubrió el 37.5% de la demanda; las gasolinas, 15,2%; el coque de petróleo, 13,5%; el diésel, 9,9%; el gas natural, 6,6%; el Bagazo de caña, 6,4%; el gas LP, 5,8%; y

la leña, 4,8%. Villa de Reyes tiene la principal demanda de energía con, 30,5%; San Luis Potosí, 25%; Ciudad Valles, 13,1%; y Tamuín, 12,9%.

En SLP, los escenarios de cambio climático (ECC) de corto plazo (2010-2040) indican aumentos en temperatura de 0,75 a 1,00 ^{o}C; y los de largo plazo (2070-2100), aumentos de 2,75 a 3,0 ^{o}C (A2) y de 1,5 a 1,75 ^{o}C (B2). Para los ECC de precipitación a corto y largo plazo la dispersión y la incertidumbre son mucho mayores que la señal. Los ECC no son pronósticos, son experimentos de sensibilidad del clima al incremento en el forzante radiativo global; pero el clima es resultado de la respuesta de la atmósfera a diversos forzantes; y a escala local, el asociado con el cambio del uso de suelo (CUS), puede ser más importantes que el forzante radiativo. Por esta razón, se utilizó una aproximación de "abajo hacia arriba" para estimar los potenciales impactos del cambio climático, basada en la respuesta histórica de diferentes sociosistemas al Clima (modelos que consideran la vulnerabilidad). En SLP operan forzantes climáticos regionales internos como las oscilaciones decadales y externos como los CUS, 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: 76% en Serranías Meridionales (SME), 62,5% en la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO), 50% en la Sierra Madre Oriental (SMO), 46,15% en la Planicie Occidental (PO), 44,44% en la Llanura de Rioverde (LLRV), y 42,85% en la Bóreo Central (BC). Por razones obvias, la evapotranspiración potencial (ETPo) ha aumentado en forma similar (69,23% en SME; 57,14% en la BC; 46,15% en la PO); el comportamiento de la pp y la ETPo, han influido en el índice de Aridez (Ari), que aumentó en diversas estaciones, en todas las regiones, en el 80% de la BC; en el 75% de la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO); en el 53,85% de la Planicie Occidental (PO). Se ha determinado que la variabilidad de la pp en SLP es extraordinaria, en el 52% de las EC en los años lluviosos hay de 4 a 10 veces más precipitación que en los secos, esta relación se incrementa en el 13% de las EC 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. El régimen mensual de precipitación, temperatura máxima y mínima y evapotranspiración se está modificando en gran parte del estado. Por ejemplo,

la precipitación de mayo está disminuyendo en forma estadísticamente significativa en el 60% de las localidades de la PCNO; en el 57,14% de las EC de SME; y en el 43,33% de las localidades en la SMO.

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

En los últimos 30 años se documentan diverso 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. El índice de aridez aumentó en diversas zonas, probablemente debido a la disminución de la pp mensual en mayo y diciembre, y/o al aumento en la Tx, causando aumento en la evapotranspiración, y disminución de la disponibilidad de agua. Si sólo se considera el ensamble de los ECC en la Región Hidrológica El Salado, por ejemplo, la disponibilidad de agua a largo plazo será de 219,1 m^{3}/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.

2 Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de San Luis Potosí

Desde inicios de la década pasada, el Gobierno de México ha manifestado su preocupación sobre el fenómeno de cambio climático, a través de la construcción de una política nacional y de su activa participación en foros y organismos internacionales. Como parte de este compromiso, en 2005 se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, con el objeto de coordinar, en el ámbito de sus respectivas competencias, las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal relativas a

la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la prevención y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, la adaptación a los efectos del cambio climático, y en general para promover el desarrollo de programas y estrategias de acción climática, relativos al cumplimiento de los compromisos adquiridos por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Como parte de la voluntad política, por llevar a cabo acciones que contribuyan a la participación y colaboración en el establecimiento de propuestas de estrategias para hacer frente al cambio climático, en México se están llevando a cabo, en cada entidad federativa, los Planes Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC), los cuales comprenden, entre otras cosas, la elaboración de Inventarios Estatales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (INE, 2011). Atendiendo a esta voluntad, y basado en el firme convencimiento de que el cambio climático se debe enfrentar con la colaboración coordinada y comprometida, el estado de San Luis Potosí se ha unido a este propósito, y en agosto de 2010 se iniciaron una serie de actividades, encaminadas a la realización del PEACC, entre las cuales se consideró la realización del inventario antes mencionado.

Los sectores incluidos en un inventario de GEI, son: Energía, Procesos Industriales, Solventes y Otros Usos de Productos, Agricultura, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura y Residuos. En el presente reporte, se incluyen solo aquéllos GEI correspondientes al sector de Procesos Industriales.

Los gases que han sido incluidos en el presente reporte corresponden a las emisiones de gases de efecto invernadero directo: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HCF), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafloruro de Azufre (SF_6); así como los gases de efecto invernadero indirecto: Óxidos de Nitrógeno (NOx), Monóxido de Carbono (CO), Compuesto Orgánicos Volátiles distintos del Metano (COVDM), así como Dióxido de Azufre (SO_2).

Se realizó el inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) de San Luis Potosí, en los 58 municipios del estado, para los sectores: Energía, Procesos Industriales y Uso de Solventes, Agricultura y USCUSS (Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura) y Desechos. Los Gases de efecto invernadero (GEI) incluidos en el inventario fueron: Dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO_2). Las emisiones se contabilizaron

por cada GEI, así como en unidades de CO_2 equivalente (CO_2 e)[1]. El período de estimación fue 2000-2006.

El IEEGEI de San Luis Potosí fue realizado con un enfoque “de abajo hacia arriba” (bottom-up), con esta aproximación las emisiones fueron calculadas a partir del inventario de cada una de las fuentes principales en el estado, y no de los datos nacionales agregados. Para este fin se construyeron nuevas bases de datos, producto de la investigación documental, de campo y de la aplicación de más de dos mil encuestas en el estado.

El IEEGEI se llevó a cabo bajo el marco conceptual y la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (PICC); de manera específica, las Guías utilizadas fueron: Las Directrices, versión 1996, Las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre, así como los Manuales de Referencia. En algunos casos, se utilizaron los factores de emisión de las Guías versión 2006; lo cual es apropiado, ya que las bases de datos incluían la cantidad de materias primas utilizadas en los procesos industriales más importantes, lo que permitió utilizar factores de emisión derivados de las cantidades de materias primas y no del volumen de producto.

Las emisiones para los diferentes sectores fueron calculadas a partir de *datos de actividad* y *factores de emisión* calculados con diferentes metodologías, pero todas a partir del análisis de las fuentes locales. De acuerdo a la metodología utilizada, se requiere de conocer, de una manera confiable, la magnitud de las actividades para cada una de las categorías integradas en el inventario. Dichas magnitudes, pueden consistir en: cantidades de materias primas utilizadas, cantidad producida del artículo correspondiente a cada empresa, entre otras. Para conocer lo antes mencionado, se utilizaron los siguientes recursos, los cuales a su vez se muestran integrados en la figura 1.

Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Este directorio, correspondiente en forma específica para el estado de San Luis Potosí, fue el primer recurso utilizado, ya que en éste se enlista la totalidad de las industrias localizadas en el estado. Una vez identificadas, se cruzó dicha información para depurar y seleccionar solo aquéllas que quedaban enmarcadas en las categorías de las *Directrices del IPCC*.

[1] Concentración de CO2 que daría lugar al mismo nivel de forzamiento radiativo que la mezcla dada de CO2 y otros gases de efecto invernadero (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1995).

Base de datos SEMARNAT Gobierno Federal de 1996. En esta base se encuentran datos muy específicos de cada una de las empresas, que en ese tiempo estaban instaladas en el estado. Tales datos son, entre otros: nombre de la empresa, giro industrial, tipo de productos elaborados, tipo y cantidad de materias primas requeridas en el proceso, número de empleados, el tipo y consumo de combustibles.

Base de datos SEMARNAT, 2005. Esta base contiene a aquéllas empresas de San Luis Potosí, que se encuentran integradas en el Registro de Emisiones y transferencia de Contaminantes (RETC). En esta se encuentran datos, tales como: nombre de la empresa, tipo y cantidad de productos elaborados, tipo y cantidad de materias primas utilizadas, tipo y cantidad de combustibles.

Base de datos de Cédulas de Operación Anual Estatales (COA). De estas cédulas, se obtuvo una valiosa información, con más detalle que las anteriores bases, ya que, contienen el total de las materias primas utilizadas, además de datos de equipos utilizados en el proceso.

Entrevistas directas. Se aprovechó la oportunidad de obtener información por entrevistas directas a empresarios, dedicados a la industria metalúrgica.

Solicitudes electrónicas. Se utilizó este medio para solicitar la información necesaria a cada una de las empresas instaladas en el estado, y que además, se encontraban enmarcadas en las categorías, según la clasificación de las Directrices del IPCC.

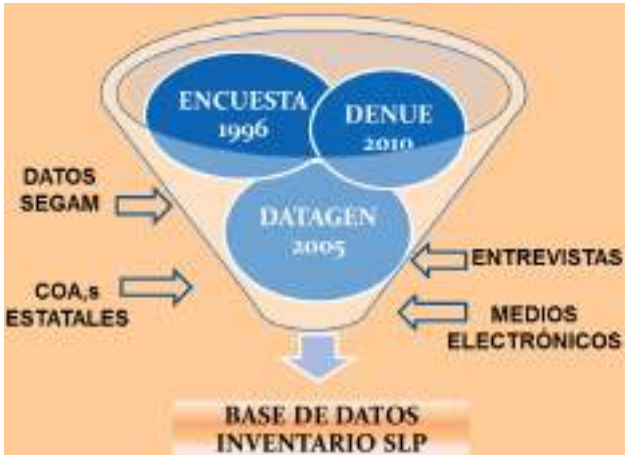


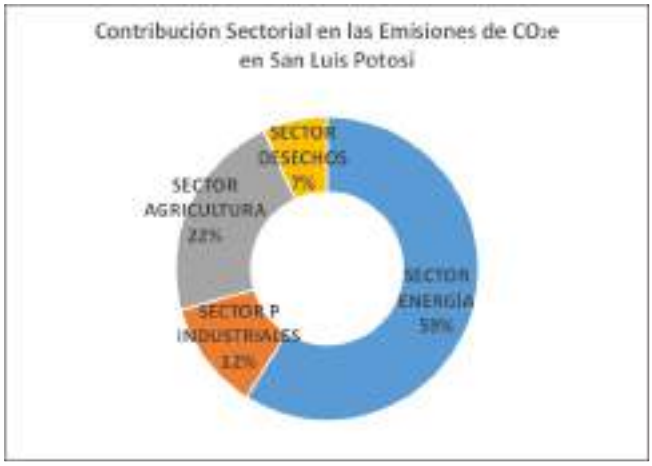
Figura 1. Esquema integrador de los datos utilizados en el inventario de GEI para el sector de Procesos Industriales, de San Luis Potosí.

Las emisiones totales en SLP, durante el período 2000-2006, fueron: 136 211 Gigagramos (Gg) de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2 e). La contribución del sector energía (E) fue la más importante con 79 351,6 Gg CO_2e (58%). Agricultura (Ag) aportó

30 353 (22%), principalmente debido a la fermentación entérica y al estiércol. Y el sector procesos industriales (PI), 15 709 (11,5%).

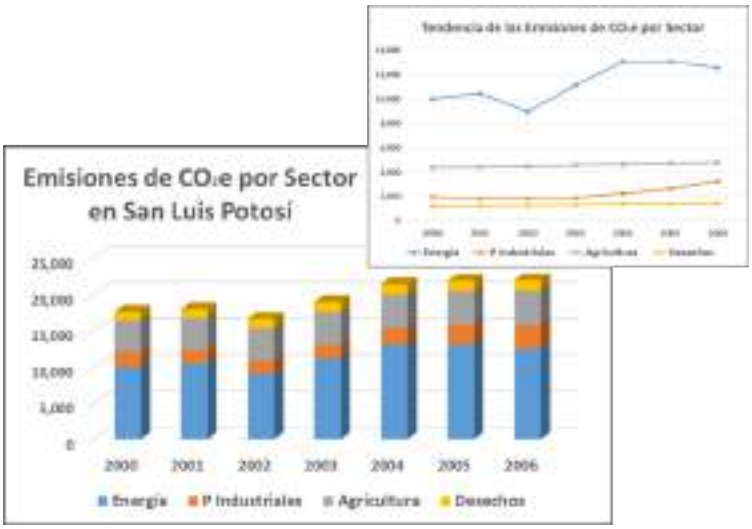
Emisiones de CO_2e generadas en San Luis Potosí					
Año	Energía	P Industriales	Agricultura	Desechos	Total
2000	10,033	1,989	4,365	1,216	17,603
2001	10,474	1,820	4,400	1,252	17,946
2002	8,986	1,868	4,463	1,277	16,595
2003	11,132	1,878	4,578	1,325	18,913
2004	13,068	2,288	4,638	1,375	21,369
2005	13,113	2,658	4,708	1,381	21,861
2006	12,545	3,208	4,759	1,411	21,924
Total	79,352	15,709	30,353	9,239	**136,211**

Tabla 1. Gigagramos (Gg) anuales de CO_2e (equivalentes), emitidos en el estado de San Luis Potosí, por cada sector incluido en el inventario.



Gráfica 1. Contribución porcentual de cada uno de los sectores, en el inventario de emisiones de GEI (Gg CO_2e) del estado de San Luis Potosí durante el período 2000-2006.

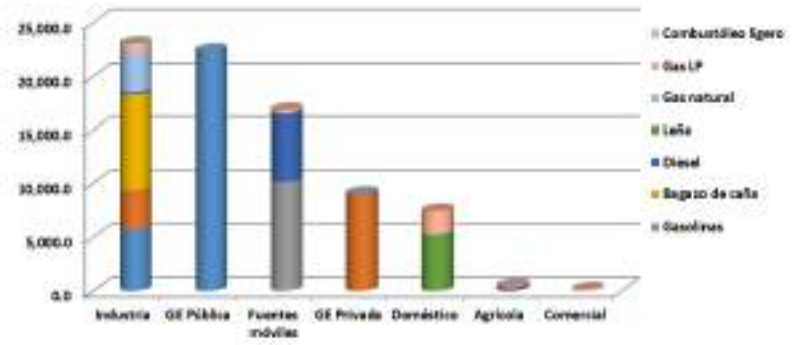
La tendencia de crecimiento de emisiones es mayor para E y PI, y de continuar el rumbo, esta última se convertirá en el segundo emisor.



Gráfica 2. Emisiones anuales y tendencias de GEI, liberadas por cada sector durante el período 2000-2006, en el estado de San Luis Potosí. (Gg de CO_2 e).

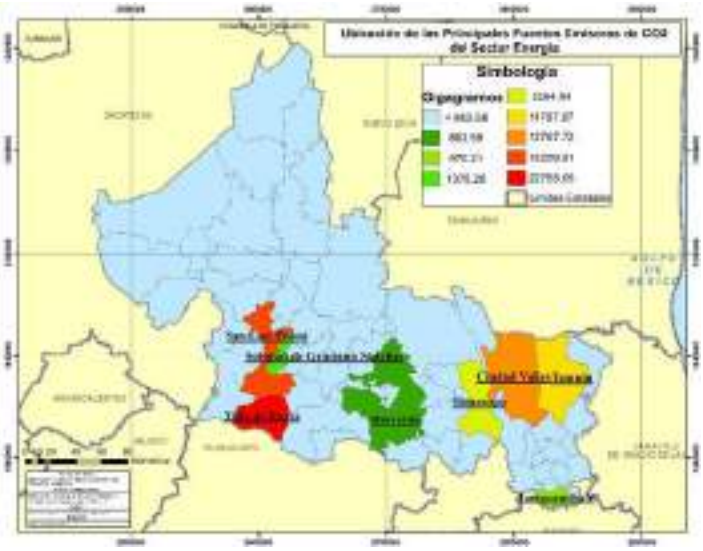
Las emisiones relativas tanto al sector desechos y agricultura se han mantenido casi constantes durante el período estudiado. El sector de procesos industriales observó un incremento a partir del año 2004, lo cual se justifica por la apertura de dos empresas que, por la naturaleza de sus procesos, contribuyen de forma importante en las emisiones de CO2. Por otra parte, en el sector energético, el incremento significativo que se aprecia en las emisiones a partir del 2003, se debe a la apertura de dos plantas privadas generadoras de electricidad.

Durante el periodo de estudio se generaron 78 961,1 Gg CO_2e de Bióxido de Carbono, siendo la fuente principal la generación de energía pública con el 28,2% del total. En lo referente al Óxido Nitroso se generaron 273,5 Gg de CO_2e de, siendo su principal emisor la industria con el 36,7% de las emisiones. En el estado se emitieron 116,9 Gg CO_2e de Metano, siendo la Industria, por el uso de combustible, el principal generador con el 40.8% de las emisiones.



Gráfica 1.1 Emisiones de CO_2e (Gg) en la categoría de Energía, generadas durante el período 2000-2006, por subcategoría y tipo de combustible consumido.

Se cartografiaron las fuentes principales de GEI por municipio: en Villa de Reyes se generan 29% de las emisiones de E, en San Luis Potosí, 20,5%, y en cuatro municipios huastecos, 36%. El 59% de las emisiones de CO2 de PI se libera en Tamuín, seguido por San Luis Potosí con 18%.



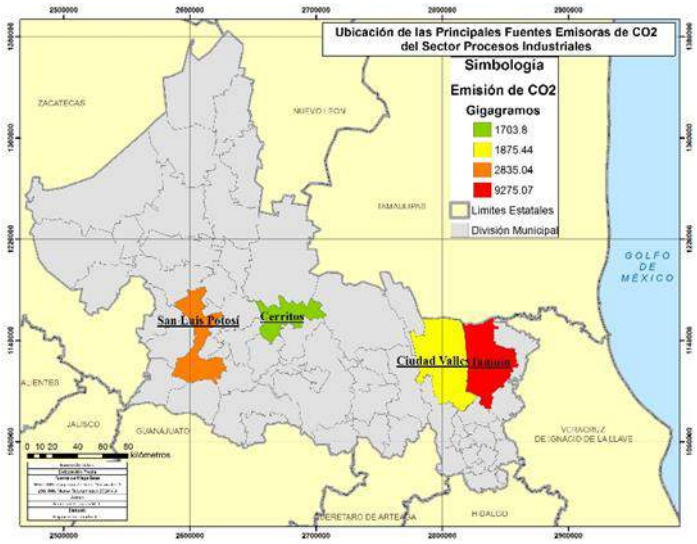


Figura 1. Distribución de los municipios más contribuyentes en las emisiones de CO_2, en el estado de San Luis Potosí, durante el período 2000-2006.

Se calculó la incertidumbre para las estimaciones de las emisiones de GEI del inventario estatal. Los cálculos de incertidumbre son un elemento esencial de un inventario de emisiones, pero no fueron utilizados para cuestionar la validez de las estimaciones realizadas, sino para identificar las áreas de oportunidad para mejorar la exactitud de los inventarios y orientar las decisiones sobre elección de la metodología del inventario (Penman & Habetsion, 1996)".

En las siguientes tablas se presentan los resultados del cálculo de incertidumbres del IEEGEI sector energía y procesos industriales, periodo 2000-2006 (porcentaje), que como puede observarse son adecuadas.

Periodo	Incertidumbre en tendencia de las emisiones totales estatales	Certidumbre en la tendencia de emisiones totales estatales
2000-2001	11,0%	89,0%
2000-2002	11,5%	88,5%
2000-2003	13,0%	87,0%
2000-2004	17,7%	82,3%
2000-2005	17,5%	82,5%
2000-2006	18,3%	81,7%

Categoría IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año (2006)	Incertidumbre de dato de actividad	Incertidumbre del factor de emisión
	Gg e CO2	Gg e CO2	Gg e CO2	%	%
Cemento	CO2	2 222 427,84	2 728 697,11	3,5	2
Cal	CO2	271 713,11	320 615,50	6,3	2
Piedra Caliza	CO2	65 311,71	54 732,33	4	2
Carbonato sódico	CO2	5 266,35	5 266,35	2	2
Vidrio	CO2	36 952,70	39 540,13	12	2
Química	CO2	2 494,62	2 497,75	8,6	2
Hierro y acero	CO2	58 271,71	61 791,32	7	3

Categoría fuentes principales IPCC	Incertidumbre combinada	Proporción de la incertidumbre combinada	Sensibilidad tipo A	Sensibilidad tipo B	Incertidumbre de la tendencia de los datos de actividad	Incertidumbre de la tendencia del factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia de la emisiones totales
	%	%	%	%	%	%	%
Cemento	4,03	3,42	0,017	1,0249	2,90	5,07	5,84
Cal	6,61	0,66	-0.003	0,1204	0,34	1,07	1,13
Piedra Caliza	4,47	0,08	-0.0090	0,0206	0,06	0,12	0,13
Carbonato sódico	2,83	0,005	-0,0004	0,0020	0,006	0,006	0,008
Vidrio	12,17	0,15	-0,002	0,0149	0,04	0,25	0,26
Química	8,83	0,007	-0,0002	0,0009	0,003	0,01	0,01
Hierro y acero	7,62	0,15	-0,003	0,0232	0,1	0,23	0,25

Considerando un escenario BaU (Business as Usual); esto es, considerando las tendencias de crecimiento estatal del Producto Interno Bruto del año 2000 al 2010, y ajustando con base al crecimiento poblacional proyectado, se considera que las emisiones de GEI en San Luis Potosí podrían alcanzar en 54 557 Gigagramos (Gg) de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2 e) para el año 2030.

Tendencias BaU de las Emisiones de GEI en San Luis Potosí
60,000
50,000
40,000
30,000
20,000
10,000
0
Gigagramos de CO2
EMIS GEI-SLP
2000
2005
2010
2015
2020
2025
2030

I. Emisiones de GEI en el Sector Energía

Las emisiones de la categoría de **Energía**, son aquellas generadas por el uso de combustibles fósiles, los cuáles son emitidas en las diferentes subcategorías que la componen (Figura 1.1).

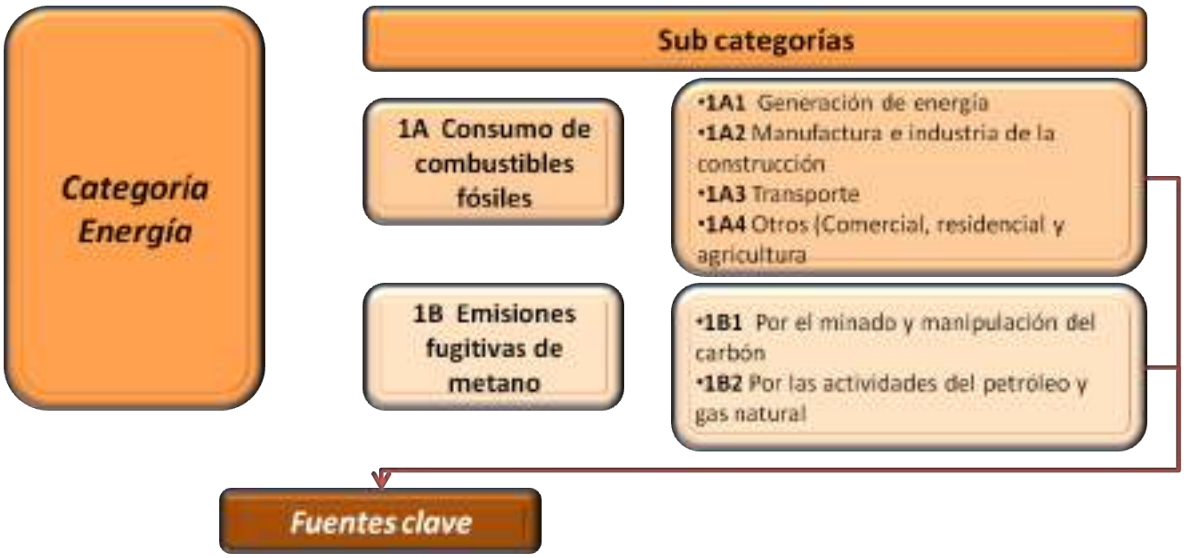


Figura 1.1 : Categoría Energía y subcategorías que la componen

La estimación de las emisiones ha sido realizada con base a las siguientes características:

- Comprende solo las emisiones generadas durante el **periodo 2000-2006**
- Los GEI contabilizados son (CO_2, CH_4 y N_2O)
- Las unidades reportadas son Gigagramos de CO_2 equivalente (Gg de CO_2e), las cuales se estiman al multiplicar la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global para un horizonte de 100 años.

Como se menciona en la Cuarta Comunicación Nacional, las emisiones de GEI expresadas en estas unidades, nos permite compararlas entre sí, y con otros inventarios y medir la contribución de cada fuente al total de emisiones del inventario.

Para obtener los datos de actividad de la categoría de energía se consultaron distintas fuentes de información tales como SENER, SIE, PEMEX, CFE, INEGI, SAGARPA, Unión Nacional de Cañeros, A.C., entre otras, en la mayoría de los casos la información recopilada se encontraba de forma agregada, situación que convirtió esta fase de elaboración del inventario en la tarea más ardua, al requerir de una serie de herramientas que garantizaran la calidad de la información.

El procedimiento general consistió en la búsqueda exhaustiva de datos de actividad por subcategoría y para cada uno de los combustibles fósiles que se consumen en el estado; para los datos de actividad de la Industria y de la Generación de Energía tanto pública como privada, se comenzó tomando como referencia la base de datos de la Cedula de Operación Anual COA 2005 de la SEMARNAT, con esta se logró identificar el tipo de combustible y la cantidad que se consume en cada uno de los diferentes sectores industriales. El siguiente paso fue buscar en las estadísticas nacionales los datos de actividad de los diferentes combustibles, siendo también necesario desagregar la información por subcategorías; para la mayoría de los combustibles la información ofrecida del año 2004 en adelante es más completa que para los años anteriores, pues en muchos de los casos esta no existe, por lo que la metodología general implicó utilizar datos sustitos que permitieran calcular los datos de las series de tiempo faltantes; los datos sustitutos utilizados fueron más específicos de acuerdo a la calidad de la información tales como: las ventas de combustibles a nivel regional, las ventas de combustibles a nivel regional desglosado por subcategorías o las ventas totales a nivel estatal, entre otras; las anteriores fueron utilizadas según correspondiera para considerar las variaciones del mercado suscitadas en esos años y al tomar como referencia los años en los cuales se contaba con información, se procedió entonces a realizar los cálculos pertinentes para complementar las series de tiempo de cada uno de los combustibles y subcategorías; el resultado de esta metodología fue satisfactorio pues en las fases posteriores se constató la calidad de los resultados obtenidos.

Se utilizaron los factores de emisión de GEI propuestos por el IPCC en sus guías del año 2006, esto debido a que en México no se cuenta con factores de emisión específicos para el tipo de tecnología y especificaciones de los combustibles utilizados al interior del país.

El Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero sector energía fue elaborado en el Nivel 1, debido a las condiciones ya señaladas anteriormente y que coinciden con las mostradas en el NIVEL 1 o TIER 1 (Figura 1.2).

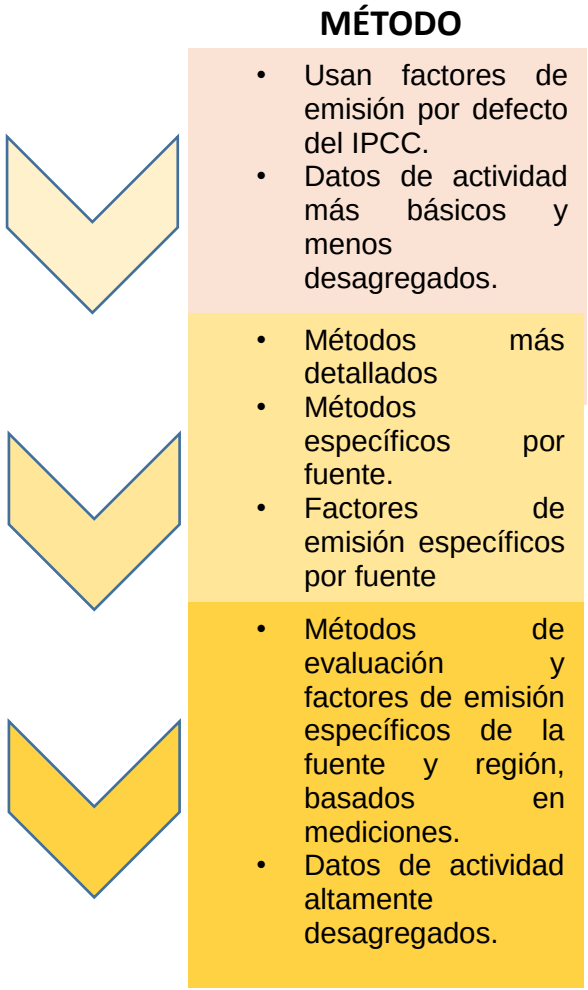
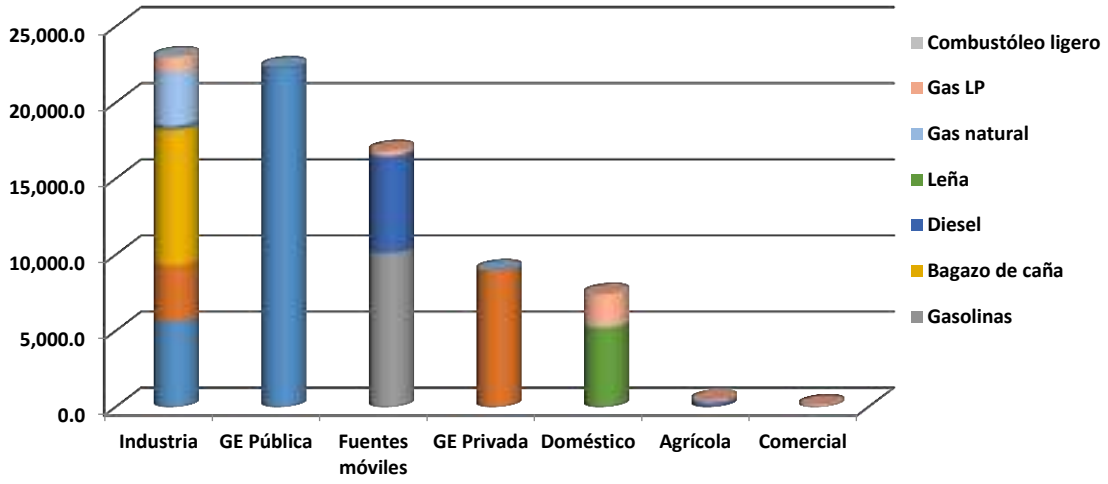


Figura 1.2 Jerarquización de los métodos de estimación de emisiones de GEI. **Fuente:** (Braatz & Doorn, 2008).

Para el período en estudio, las emisiones de esta categoría contribuyeron al inventario estatal con 79 351,6 Gg de CO_2e. Dentro de las subcategorías que lo integran, el principal emisor es la Industria, que emite 23 017,4 Gg de CO_2e, lo que equivale al 29% del total de emisiones; al desagregar este dato de acuerdo a la contribución por sectores industriales tenemos que el 87,1% del total de las emisiones son generadas por la industria de Alimentos, bebidas y Tabaco que genera el 43,4%, la industria de la Construcción, específicamente la del Cemento con el 35,6%, y la industria de Minerales no Metálicos que aporta el 8,1% del total de emisiones generadas por la Industria; continuando con las demás subcategorías se observa otra subdivisión, donde se encuentra la Generación de Energía Pública que contribuye con 22 367,4 Gg de CO_2e, (28,1%) del total de emisiones, el transporte ocupa el tercer puesto al aportar 16 854,3 Gg de CO_2e (21,2%) al total de

emisiones, el cuarto sitio es para la Generación de Energía Privada la cual desde el inicio de sus operaciones en el año 2003 genero 9 021,3 Gg de CO_2e (11,4%), el quinto puesto lo ocupa el sector doméstico generando 7 460,4 Gg de CO_2e (9,4%) del total de las emisiones; al sumar las emisiones generadas por estas cinco subcategorías tenemos el 99,2% de las emisiones totales lo que las convierte en las categorías de fuente principales, por lo que las principales estrategias de mitigación estarán encaminadas a mitigar las emisiones generadas en estas subcategorías; el 0,8% restante de las emisiones es generado por la Agricultura la cual ha contribuido con 477,8 Gg de CO_2e (0,6%), y por último el Comercio generó 153,2 Gg de CO_2e (0,2%) de las emisiones totales.



Gráfica 1.1 Emisiones de CO_2e (Gg) en la categoría de Energía, generadas durante el período 2000-2006, por subcategoría y tipo de combustible consumido.

Durante el periodo de estudio se generaron 78 961,1 Gg de Bióxido de Carbono (CO_2), su principal fuente de emisión fue la Generación de Energía pública que aporta el 28,2% del total de las emisiones de CO_2; por concepto de Óxido Nitroso (N_2O) se generaron 273.5 Gg de CO_2 eq. su principal contribuyente fue la industria con el 36.7% de las emisiones totales de N_2O; al Metano (CH_4) se le atribuyen 116.9 Gg de CO_2 eq. donde la Industria genero el 40.8% de las emisiones de CH_4 (Tabla 1.1).

Inventario Estatal de Emisiones GEI 2000 - 2006				
CATEGORÍA DE EMISIÓN	año	2000-2006		
	gases GEI	Emisiones de CO_2	CH_4	N_2O
	Categoría IPCC	(Gigagramos)		
TOTAL de emisiones nacionales				
ENERGIA	1	78,961.10	116.90	273.54
Generación de electricidad	1A1a i	31,294.00	23.97	70.76
INDUSTRIAS MANUFACTURAS Y CONSTRUCCION	1A2	22,869.13	47.71	100.34
Hierro y acero	1A2a	539.26	0.18	0.31
Metales no ferrosos	1A2b	245.55	0.09	0.13
Química	1A2c	227.98	0.16	0.43
Papel y editoriales	1A2d	505.54	0.20	0.31
Alimentos, bebidas y tabaco	1A2e	9,871.46	39.64	78.71
Minerales no metálicos	1A2f	1,871.19	0.72	1.11
Equipo de transporte	1A2g	232.41	0.14	0.35
Maquinaria	1A2h	0.00	0.00	0.00
Minería	1A2i	545.36	0.28	0.67
Madera y productos de madera	1A2j	0.00	0.00	0.00
Construcción	1A2k	8,166.42	6.03	17.82
Textil y cuero	1A2l	110.19	0.05	0.12
Otras	1A2m	553.77	0.22	0.37
OTROS SECTORES	1A4	8,002.01	30.14	59.17
Comercial / Institucional	1A4a	153.05	0.05	0.08
Residencial	1A4b	7,372.40	29.76	58.22
Agricultura/Silvicultura/Pesca	1A4c	476.57	0.33	0.87
NO ESPECIFICADO	1A5	16,795.95	15.08	43.28
Móviles	1A5b	16,795.95	15.08	43.28

Tabla 1.1 Emisiones de GEI categoría energía, 2000-2006 en Gg de CO_2e.

II. Emisiones de GEI en el Sector Agricultura

Este capítulo estima las emisiones de GEI provenientes de las actividades agropecuarias, en el estado de San Luis Potosí **para el periodo 2000-2006**, empleando la metodología propuesta y validada por el IPCC.

En la parte correspondiente a agricultura y ganadería, se consideran las emisiones de GEI procedentes de tres fuentes:

a) Fermentación entérica y manejo de estiércol de ganado doméstico.
b) Quema en campo de residuos agrícolas.
c) Suelos agrícolas.

Se trata de las emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) provenientes de la fermentación entérica y manejo de estiércol. El metano procedente de la fermentación entérica de los herbívoros es una consecuencia del proceso digestivo durante el cual los hidratos de carbono se descomponen por la acción de los microorganismos. El metano procedente del manejo del estiércol sigue una descomposición en anaerobia, estas

condiciones se presentan en por lo general cuando se cría un número elevado de animales en un área confinada.

En la agricultura, los sistemas de producción generan una gran cantidad de desperdicios y/o residuos, la quema de éstos en campo es una práctica común en varios municipios del estado. Las estimaciones que se ofrecen corresponden a las emisiones de metano, monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) y óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de los residuos de las cosechas.

En relación a los suelos agrícolas se estimaron las emisiones directas de óxido nitroso. Las estimaciones fueron de la producción animal y de las provenientes del nitrógeno que se utiliza directamente en la agricultura, como la Urea y el Amoniaco.

En términos generales, las emisiones se calculan aplicando el factor de emisión del número de animales de cada tipo de ganado en el país para obtener el total de la fermentación entérica. Se incluyen factores de emisión por defecto para los países desarrollados y en desarrollo, presentándose mayor detalle regional para el ganado vacuno, que es la fuente más importante en esta actividad.

Se utilizó una metodología similar para estimar las emisiones procedentes del manejo del estiércol. En este rubro, los factores de emisión por defecto se presentan por regiones para tres regímenes climáticos diferentes. Basta con multiplicar las poblaciones por los factores de emisión para obtener las estimaciones de las emisiones (*Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo*).

Se utiliza la hoja de trabajo 4.1: Emisiones de metano y óxido nitroso procedentes de la fermentación entérica del ganado doméstico y del manejo del estiércol.

Para cada tipo de ganado, se indica un Factor de Emisión medio en kilogramos por cabeza por año (es equivalente a toneladas por mil cabezas al año). Los factores de emisión para el ganado varían de una región a otra y se deberán de seleccionar los factores de emisión que resulten más adecuados para la situación nacional.

Los datos necesarios para la estimación de las emisiones de la primera categoría, fermentación entérica y manejo de estiércol (Tabla 2.1), se obtuvieron de la base de datos del SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta).

Los factores de emisión (Tabla 2.2) considerados para estimar las emisiones de metano de fermentación entérica y manejo de estiércol son los sugeridos por las Guías del IPCC.

Tipo de ganado	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Ganado lechero	36,359	16,857	15,581	15,225	20,110	19,375	17,489
Ganado no lechero	830,528	873,489	867,331	892,187	871,349	878,743	909,054
Ovejas	502,866	459,746	468,104	495,061	486,110	470,932	470,426
Cabras	724,196	662,879	699,790	698,045	711,480	729,612	712,247
Cerdos	185,419	187,064	204,691	208,112	302,479	289,073	306,510
Aves de corral	8,971,045	9,352,249	9,342,283	9,271,536	9,295,495	7,603,985	8,517,325

Tabla 2.1. Número de cabezas por especie en el período 2000- 2006 en San Luis Potosí (SIACON).

Las emisiones directas óxido nitroso (N_2O) por sistemas de manejo de estiércol se calcularón con los factores de emisión (Tabla 2.3) relativos a la cantidad de Nitrógeno excretado por cada especie de ganado.

Las emisiones indirectas de N_2O de manejo de estiércol fueron determinadas con los factores (Tabla 2.4) evaluados según el sistema de manejo del estiércol.

Tipo de ganado	Factores de Emisión (FE)	
	Fermentación Entérica (kg CH_4/cabeza-año)	**Manejo de Estiércol** (kg CH_4/cabeza-año)
Aves de corral	N. A.	0.016
Cabras/chivos	5.000	0.149
Cerdos	1.500	0.694
Otro ganado vacuno	47.409	1.000
Ovejas	8.000	0.139
Vacas	104.353	0.694

Tabla 2.2 Factores de Emisión para fermentación entérica N.A. = No Aplica

Tipo de ganado	Relación de N por excreta (Kg N/cabeza/año)
Ganado no lechero	40
Ganado lechero	70
Aves de corral	0.6
Ovejas	12
Cerdos	16
Otros	40

Tabla 2.3. Nitrógeno excretado por tipo de ganado.

Sistema de manejo de estiércol	FE (kg N_2O-N/ kg N)
Lagunas anaeróbicas	0.001
Sistema de tipo líquido	0.001
Abono diario	0.000
Almacenamiento sólido y parcelas secas	0.0175
Praderas y Pastizales	0.0175
Otros	0.005

Tabla 2.4. Factores de Emisión para manejo de estiércol.

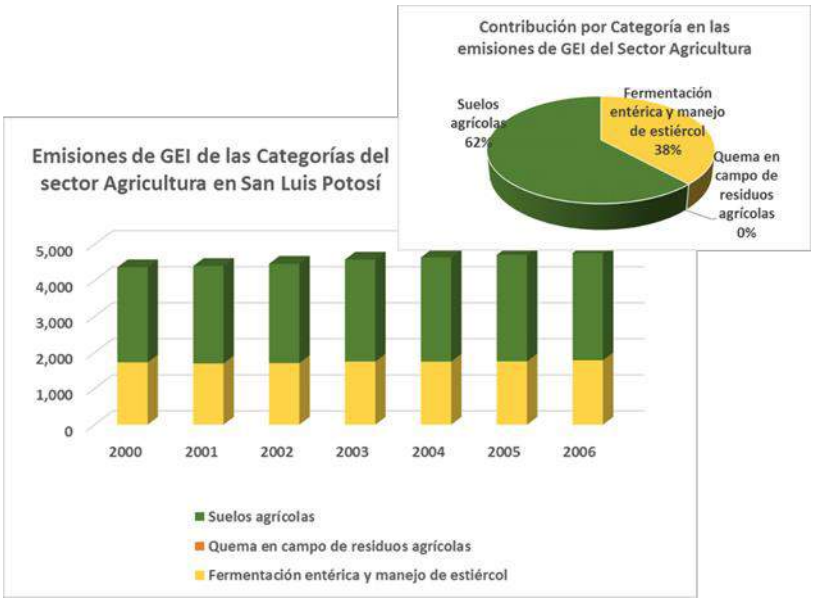
En el estado de San Luis Potosí no se encontraron datos sobre emisiones anuales de CO_2 por fertilización con Urea; por otro lado, no existen suelos de tipo orgánico (histosoles), por lo tanto, no es posible hacer estimaciones directas de N_2O de estos suelos manejados.

Para realizar las estimaciones se utilizó el software del IPCC, el cual consiste en una serie de hojas de cálculo. Las emisiones de GEI indirectos dentro de este sector, solo se observan en la categoría de quema de residuos (Tabla 2.5).

Emisiones del Sector Agricultura								
Categoría	Gases	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Fermentación entérica y manejo de estiércol	CH_4	52.4000	51.7700	51.6400	53.0200	52.7300	52.9208	54.1500
	N_2O	2.0250	1.9800	2.0200	2.0600	2.0700	2.0800	2.1000
	CO							
	NO_x							
Quema de residuos agrícolas en campo	CH_4	0.0012	0.0017	0.0016	0.0017	0.0016	0.0017	0.0016
	N_2O	0.0020	0.0027	0.0026	0.0027	0.0027	0.0028	0.0026
	CO	0.0258	0.0347	0.0333	0.0348	0.0342	0.0361	0.0334
	NO_x	0.0734	0.0986	0.0946	0.0989	0.0970	0.1025	0.0960
Emisiones directas de oxido nitroso procedente de los campos agricolas, sin el cultivo de los histosoles	CH_4							
	N_2O	1.8380	1.8180	1.8529	1.9309	1.9636	2.1491	2.2132
	CO							
	NO_x							
Emisiones directas de oxido nitroso procedente del pastoreo de animales Praderas y Pastizales	CH_4							
	N_2O	1.9460	2.1100	2.1525	2.1884	2.2267	2.2145	2.2477
	CO							
	NO_x							
Emisiones indirectas de oxido nitroso procedente de la deposición atmosférica de NH_3 y NOx	CH_4							
	N_2O	0.1560	0.1509	0.1535	0.1579	0.1622	0.1633	0.1618
	CO							
	NO_x							
Emisiones indirectas de oxido nitroso procedente de la lixiviación	CH_4							
	N_2O	4.5650	4.6269	4.7070	4.8367	4.9656	4.9920	4.9577
	CO							
	NO_x							
Totales en Gg de CO_2e		**4,365**	**4,400**	**4,463**	**4,578**	**4,638**	**4,708**	**4,759**

Tabla 2.5 Emisiones de las categorías del sector Agricultura, por gas emitido y subcategorías, para el período 2000-2006 en el estado de San Luis la Potosí.

La contribución de la categoría de suelos agrícolas en el total de emisiones de GEI en este sector es indiscutible (Gráfica 2.1); a su vez, dentro de esta categoría, las emisiones indirectas de óxido nitroso procedente de la lixiviación fueron las más contribuyentes. Este dato es relevante a ser considerado en el planteamiento de estrategias de mitigación. Además, la participación en las emisiones de la categoría de fermentación entérica en este sector también es importante y debe ser tomada en cuenta, ya que en términos de estrategias de mitigación deben también analizarse los proyectos más factibles.



Gráfica 2.1 Participación de cada categoría en el total de emisiones del sector agricultura, en el inventario estatal de GEI de San Luis Potosí, durante el periodo 2000-2006 (Gg CO_2e).

III. Emisiones de GEI en el Sector Procesos Industriales

La presente categoria considera, específicamente, las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la transformación de las materias primas utilizadas en los diversos procesos industriales que se consideraron, según las categorías propuestas en las guías metodológicas utilizadas. Las estimaciones de estas emisiones se realizaron bajo el marco conceptual y la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático: *Las Directrices*, versión 1996, *La Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre*, así como los *Manuales de Referencia*.

Datos de Actividad

De acuerdo a las principales bases de datos utilizadas, Cédulas de Operación Anual, se tomó como año base el 2005; sin embargo, por motivo de falta de datos, en algunos casos se consideró al año 1996 como tal. Para la estimación de las emisiones del resto de los años se utilizaron datos sustitutos, muy específicos para cada una de las categorías consideradas; de igual forma, en algunos casos se procedió a realizar interpolaciones o estimación de emisiones con modelos de regresión.

Se hace notar que, aunque las categorías propuestas por el IPCC sugieren más procesos que los presentados en la tabla anterior, estos no se incluyeron debido a que en el estado no se identificaron empresas dedicadas a éstos. Además, las categorías incluidas en este sector (tabla 3.1), son las establecidas en las Guías mencionadas, aunque se aclara que

en la categoría referente a producción de Hierro y acero se incluyeron, además, las emisiones provenientes de las plantas de beneficio de metales

EMISIONES DE GEI DIRECTOS E INDIRECTOS DEL SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES (2000-2006)					
CATEGORÍAS	CO_2	CO	COVDM	NO_x	SO_2
	Gg	Ton	Ton	Ton	Ton
2A PRODUCTOS MINERALES					
2A1 PRODUCCIÓN DE CEMENTO	12,874.31				5,584.80
2A2 PRODUCCIÓN DE OXIDO E HIDROXIDO DE CALCIO	1,779.20				
2A3 USO DE PIEDRA CALIZA Y DOLOMITA	383.68				
2A4 PRODUCCIÓN Y USO DE CARBONATO DE SODIO	36.86				
2A5 Y 2A6 PAVIMENTACIÓN E IMPERMEAB A BASE DE ASFALTO			829,787.31		
2A7 VIDRIO	238.26	308.77	308.77	9,571.80	5,296.97
2B INDUSTRIA QUIMICA					
2B5 OTROS (polimeros y resinas)	13.39		4,808.80		
2C PRODUCCIÓN DE METALES					
2C1 PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO	383.65	1.93	57.79	77.05	364,011.72
2D OTROS PROCESOS INDUSTRIALES					
2D2 ALIMENTOS Y BEBIDAS			33,966.51		

Tabla 3.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del estado de San Luis Potosí, según categoría, para el período 2000-2006.

Además, en algunos casos se utilizaron los factores de emisión de las mismas Guías, pero de la versión 2006, así como los factores de emisión propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Lo anterior se consideró apropiado ya que, en la mayoría de las estimaciones realizadas se cuenta con la cantidad de materias primas utilizadas en el proceso, por lo que a nuestra consideración, esta es una situación que debe aprovecharse para hacer estimaciones de las emisiones con mayor exactitud, al utilizar factores de emisión que correspondan con las cantidades de materias primas utilizadas, y no necesariamente con la cantidad de producto.

Considerando que el objetivo central de los inventarios de GEI es conocer las emisiones estatales de CO2 por sector, resulta fundamental identificar cada una de las categorías incluidas en cada uno (tabla 3.2), con el objetivo tanto de conocer la magnitud de las emisiones, así como de identificar las fuentes que más contribuyen a estas. En las emisiones del sector en cuestión, es necesario hacer notar la contundente participación que la industria del cemento tiene en tales emisiones (Fig. 3.1); así como la tendencia que presentó en los últimos tres años. Cabe mencionar que San Luis Potosí destaca como uno de los mayores productores de piedra caliza (principal insumo en la producción de cemento), razón por la cual, la producción de cemento es significativa en el estado.

EMISIONES DE CO_2 DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES EN SAN LUIS POTOSÍ (Gg)								
AÑO	2A1	2A2	2A3	2A4	2A7	2B5	2C1	TOTAL
2000	1,536.25	317.00	47.73	5.27	28.86	1.50	52.06	1,988.66
2001	1,453.86	227.41	51.75	5.27	28.82	1.51	51.64	1,820.25
2002	1,507.17	210.67	53.77	5.27	36.02	1.52	53.50	1,867.91
2003	1,545.94	184.43	51.63	5.27	32.71	1.64	56.60	1,878.22
2004	1,879.97	247.37	58.75	5.27	35.35	2.23	58.95	2,287.90
2005	2,222.43	271.71	65.31	5.27	36.95	2.49	53.83	2,657.99
2006	2,728.70	320.62	54.73	5.27	39.54	2.50	57.08	3,208.43
TOTAL	12,874.31	1,779.20	383.68	36.86	238.26	13.39	383.65	**15,709.35**

Tabla 3.2. Emisiones estatales de CO_2 generadas en los procesos industriales en San Luis Potosí.

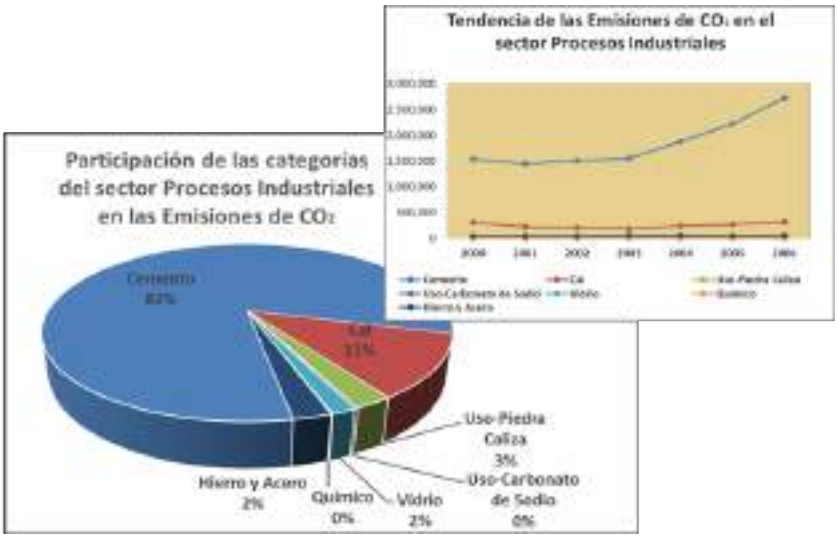


Figura 3.1 Contribución y tendencias de las emisiones de CO_2 de las categorías del sector Procesos Industriales en el estado de San Luis Potosí, durante el período 2000-2006.

IV. Emisiones de GEI en el sector Desechos

En este capítulo se incluye la información correspondiente a los aspectos generales del manejo, tratamiento y disposición de residuos sólidos urbanos y de las aguas residuales, clasificados ambos en municipal e industrial.

La información requerida sobre las actividades relacionadas a éste rubro por la guía del IPCC se refieren a la generación, composición y disposición de residuos sólidos (industrial y municipal), generación per-cápita, cantidad de sitios de disposición final y tipo de manejo de los mismos (controlados o no controlados). Adicionalmente se requieren datos generales como PIB, población y clima.

En la metodología del IPCC también se incluyen las categorías de tratamiento de biológico, así como la incineración y quema a cielo abierto de residuos, sin embargo en el caso de la primera no se pudo realizar por falta de información y en lo referente a la

segunda, el Gobierno del Estado reporta que no se llevan a cabo dichas actividades en San Luis Potosí.

El tratamiento y disposición de residuos sólidos municipales (RSM) produce cantidades significativas de metano (CH_4). Por otro lado también los sitios de disposición de residuos sólidos urbanos (SDRSU) también produce óxido nitroso (N_2O), bióxido de carbono (CO_2), así como compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno (NOx), y monóxido de carbono (CO) estos últimos no se encuentran contemplados en la metodología del IPCC 1996.

La cantidad de residuos sólidos generados en San Luis Potosí durante el 2006 fue de 657 Gg (Gigagramos), que representan el 1,85% del total generado en el país (Tabla 4.1).

La información presentada en este apartado es referente a aguas residuales municipales e industriales. En el Estado de San Luis Potosí existen veintidós organismos oficiales responsables de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario que atienden a todos los municipio del Estado. La información facilitada por el gobierno del estado está basada en datos estadísticos realizados por dichos organismos y del INEGI.

Año	**Nacional** (Gg)	**San Luis Potosí** (Gg)
2000	30,733	579
2001	31,488	593
2002	32,174	604
2003	32,916	617
2004	34,602	631
2005	35,405	646
2006	36,135	657

Tabla 4.1. Comparación de la Generación Residuos Sólidos Urbanos en Nacional vs San Luis Potosí (Secretaría de Desarrollo Social, 2010).

Según datos del INEGI en el 2005 de las 557 534 mil viviendas existentes en el estado el 76,1% cuentan con instalaciones de drenaje y el 23,9% no disponen de este servicio. Estas cifras se encuentran por encima de la media nacional del 87% para viviendas con drenaje y del 13% para las que carecen del mismo.

Durante el 2005, de acuerdo con cifras estimadas con información de los organismos de agua del estado, se generaron un total de 315 millones de m^3 de agua potable, de los cuales se recolectaron 238 millones, que equivalen al 75% del total generado. San Luis Potosí contaba con 12 plantas de tratamiento para aguas residuales municipales con una capacidad instalada de 1 987,40 litros por segundo (l/s) y un volumen tratado de 1 300,40 l/s (lo que equivale a 41 millones de metros cúbicos de agua residual tratada por año) predominando las lagunas de estabilización, lagunas aireadas y lodos activados como métodos de tratamiento.

Para el tratamiento de las aguas residuales industriales se contaba con una infraestructura de 82 plantas, de las cuales 32 son biológicas. Estas plantas biológicas cuentan con una capacidad de 0,357 m^3/s, tratando un volumen total en el 2006 de 3,8 millones de m^3/año.

Es importante mencionar que para las aguas residuales industriales no se contó con información proveniente de la industria sobre la producción total anual, solo con el gasto de operación reportado a los organismos operadores encargados de supervisar la operación y funcionamiento de estas; por lo que fue necesario realizar los cálculos basándonos en los caudales de operación y los valores reportados por la CONAGUA de la calidad esperada de las descargas de las aguas residuales industriales por giro.

La estimación de emisiones de GEI provenientes de la categoría de residuos incluyó las siguientes sub-categorías: disposición de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales en ambos casos de tipo municipal e industrial. En este punto es conveniente recordar que para los años base de acuerdo con el Gobierno del estado, no se realiza incineración ni quema a cielo abierto de residuos, y tampoco existe tratamiento biológico de estos.

Por lo que respecta al manejo de los residuos peligrosos, éstos se consideran como residuos de manejo especial y están incluidos dentro de la categoría de residuos sólidos.

Además de los datos de actividad, es necesario contar con parámetros y factores de emisión para cada tipo o sistema de manejo; sin embargo, el estado no cuenta con la suficiente información como para poder crearlos. Por lo tanto, siempre que no fuera posible calcularlos, se optó por usar los que utiliza el INEGI para México, publicaciones científicas o en su defecto los del IPCC para México o Norteamérica.

Con la categoría de residuos sólidos fue posible determinar el valor del factor de corrección de metano (MCF) y el contenido orgánico de carbono (DOC) en función de la información recolectada para el estado.

Para realizar los cálculos referentes a la categoría de residuos sólidos el software y la metodología del IPCC 1996. En dicho programa se proporcionan los datos de actividad sobre disposición de residuos sólidos y diversos parámetros para el sector de residuos sólidos (municipales e industriales), este programa está basado en una ecuación de primer orden que estima la cantidad de metano generado como resultado de la degradación de la materia orgánica bajo condiciones anaerobias tomando en cuenta que parte del metano es oxidado cuando se cubren los residuos, cuando se queman o se usan para generación de energía.

Por otro lado es conveniente aclarar que para la estimación del metano y óxido nitroso generado por las aguas residuales su utilizó la misma herramienta o software del IPCC 1996 para ser congruentes con el control de calidad del sector de residuos. Este software, trata de una serie de hojas cálculo en las cuales se trabaja con datos referentes a la fracción de población que cuenta con servicio de tratamiento de aguas residuales municipales, así como, los tipos de tecnologías que existen, la DBO per cápita, etc. En el caso de las aguas industriales, se utilizaron datos de los inventarios de plantas industriales para conocer el caudal de operación de cada una de las plantas biológicas que operan en cada año, los tipos de tecnologías con que cuentan y para la calidad esperada de las descargas se utilizó los valores reportados por la Comisión Nacional del Agua; por último, para estimar las emisiones de óxido nitroso, se necesitó el consumo de proteína por persona y la población de cada año bajo estudio.

Los resultados que se presentan están reportados en Gigagramos de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) y corresponden a la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero generada por la disposición de residuos sólidos, así como por la categoría de aguas residuales, tanto industriales, como municipales (Tabla 4.2). Las emisiones anuales per cápita para el estado por el rubro de Residuos son de 0,25 toneladas.

Año	Categoría	Gg CH_4/año	Gg N_2O/año	PCG N_2O	PCG CH_4	Gg CO_2eq /año	TOTAL Gg CO_2eq /año
2000	Residuos Sólidos	35.279	N. A	---	21	740.861	1,215.871
	Aguas Residuales Municipales	18.764	0.094	290	---	27.385	
	Aguas Residuales Industriales	2.552	N. A	---	21	447.625	
2001	Residuos Sólidos	36.590	N. A	---	21	768.394	1,252.148
	Aguas Residuales Municipales	19.132	0.098	290	---	28.407	
	Aguas Residuales Industriales	2.552	N. A	---	21	455.347	
2002	Residuos Sólidos	37.818	N. A	---	21	794.178	1,277.488
	Aguas Residuales Municipales	19.117	0.100	290	---	28.871	
	Aguas Residuales Industriales	2.523	N. A	---	21	454.440	
2003	Residuos Sólidos	39.862	N. A	---	21	837.104	1,325.261
	Aguas Residuales Municipales	19.325	0.100	290	---	28.928	
	Aguas Residuales Industriales	2.543	N. A	---	21	459.229	
2004	Residuos Sólidos	42.073	N. A	---	21	883.524	1,375.204
	Aguas Residuales Municipales	19.490	0.101	290	---	29.212	
	Aguas Residuales Industriales	2.532	N. A	---	21	462.469	
2005	Residuos Sólidos	43.073	N. A	---	21	904.527	1,381.236
	Aguas Residuales Municipales	18.794	0.101	290	---	29.380	
	Aguas Residuales Industriales	2.507	N. A	---	21	447.329	
2006	Residuos Sólidos	44.914	N. A	---	21	943.193	1,411.487
	Aguas Residuales Municipales	18.751	0.103	290	---	29.999	
	Aguas Residuales Industriales	2.121	N. A	---	21	438.296	

N. A. = No Aplica

Tabla 4.2. Emisiones de GEI por residuos en San Luis Potosí, 2000 - 2006.

Las emisiones generadas por los residuos sólidos municipales, cuya contribución en este sector es predominante, observa además una tendencia incremental (Gráfica 4.1); mientras que las correspondientes a las emitidas por aguas residuales se mantuvieron casi constantes durante el período en estudio.

Gráfica 4.1 Tendencia de las emisiones estatales de GEI generadas por las categorías del sector Desechos, en San Luis Potosí.

3 Balance de energía

Se realizó el primer balance de energía de SLP para el periodo 2000-2006. Se calculó la demanda total de energía en el estado para 2000-2006 y se representaron cartográficamente los flujos y consumos principales. Se identificaron los sectores de mayor demanda energética; los tipos y volúmenes de combustible utilizados para cubrir la demanda de energía estatal, incluyendo la de madera tradicionalmente subestimada. Se determinó la demanda energética por municipios. Se definieron las participaciones municipales en el consumo de energía eléctrica estatal.

El balance de energía de SLP, es el primero realizado en el estado, incluye las bases de datos y la cartografía de los flujos de energía, el consumo de energía por municipio y localidad, los sectores de mayor demanda energética; los tipos y los volúmenes de combustible utilizados por sector para cubrir la demanda energética. La información es básica para la construcción de un programa estatal de gestión energética; para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación del sector energético se identifican áreas de oportunidad para disminuir la intensidad energética, incluyendo el diseño de estufas que consumen leña, consumo tradicionalmente subestimado.

Para el cálculo del balance de energía el primer objetivo fue transformar todos los combustibles de las unidades en las que son reportados a petaJulios (PJ), lo cual se realizó tomando un factor de conversión o considerando el poder calorífico de cada combustible por unidad de volumen. (Irastorza & Fernández, 2010)

La demanda total de energía fue de 958,9 peta Julios (pJ), del gran total la *generación de energía pública* demandó 287,1 pJ equivalentes al 29,9% del total; *la industria* 249,1 pJ lo que representa el 26,0%; y *el transporte* 236,7 pJ, el 24,7% de la demanda; el cuarto puesto lo ocupa *la generación de energía privada* con un 9,7% del total de la energía o su equivalente en 93,3 pJ; le sigue *el sector doméstico* con una demanda energética de 81,3 pJ, el 8,5% de la demanda total; por último, tenemos al sector agrícola con una demanda energética de 6,8 pJ y el sector comercial con 2,5 pJ, y su porcentaje de la demanda total es 0,7% y 0,3% respectivamente.

Analizando los datos finales por tipo de combustible se encontró que el combustóleo pesado cubrió el 37,5% de la demanda de energía en San Luis Potosí, 359,5 pJ, siendo su principal consumidor la generación de energía pública. Las gasolinas cubrieron el 15,2%, equivalente a 145,4 pJ. El coque de petróleo cubrió el 13,5%, 129,7 pJ. El diésel alcanzó el 9,9%, 95,1 pJ. El gas natural, 6,6%, 63,5 pJ. El Bagazo de caña, 6,4%, 61,7 pJ. El gas LP, 5,8%, 55,7 pJ. La leña, 4,8%, 46,1 pJ. El gas LP y

la leña son los combustibles de mayor uso doméstico. Por último tenemos el combustóleo ligero que genero 2,2 PJ (0,2%) durante el periodo de estudio.

En cuanto a la demanda energética por municipios, Villa de Reyes tiene la principal demanda de energía, 292,2 pJ equivalentes al 30,5% de la demanda (por la Central Termoeléctrica). Le sigue San Luis Potosí con 240,1 pJ, es decir el 25%. Ciudad Valles, tuvo una demanda de 125,2 pJ equivalentes a 13,1%, como consecuencia de la actividad cañera de la región. Tamuín presentó una demanda de 123,7 equivalentes al 12,9% de la demanda estatal, siendo la generación de energía publica el principal sector demandante. El resto de los municipios componen el 18,5% de la demanda y su participación individual no rebasa el 3%, por lo tanto tenemos es posible concluir que en cuatro municipios de San Luis Potosí, donde se están desarrollando más del 80% de las actividades que demandan energía en forma intensiva en el estado.

El consumo de energía eléctrica muestra que la capital del estado durante el periodo de estudio consumió el 40,5% de la demanda total lo cual en MWh es igual a 12 842 345,8 debido principalmente a la concentración industrial. Ciudad Valles consumió 7 784 016,5 MWh (25,1%) de la demanda total y Tamuín 2 469 123,8 MWh (8,0%), estos tres municipios constituyen el 74,6% de la demanda total de electricidad.

Durante el periodo 2000-2006 se consumieron en el estado un total de 145,4 petajoules pJ solo por consumo de gasolinas Magna y Premium, su origen fueron las refinerías ubicadas en Cd. Madero, Cadereyta y Salamanca, las gasolinas ingresan al estado a través de tres regiones, una de ellas es Ciudad Valles, Matehuala y la Zona Conurbada de San Luis Potosí, esta última fue la principal vía de ingreso durante el periodo de estudio (**cuadro 1**), así mismo se puede observar en la **Figura 1** como el consumo de este combustible tiende a la alza, en el **mapa 1** podemos observar que en Rioverde, Matehuala, Ciudad Valles y la Zona Conurbada de San Luis Potosí se consumió el 80% del total de la energía generada por consumo de gasolina, esto se debe a que el 70% de la flota vehicular a gasolina se encuentra ubicada en estos municipios.

Cuadro 1. Ingreso de Energía por consumo de Gasolina, 2000-2006
(Petajoules PJ)

Origen	Refinería de Cadereyta	Refinería de Cd. Madero	Refinería de Tula
Destino	Matehuala	Cd. Valles	San Luis Potosí
Energía	16.24 PJ	29.36 PJ	99.76 PJ

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE

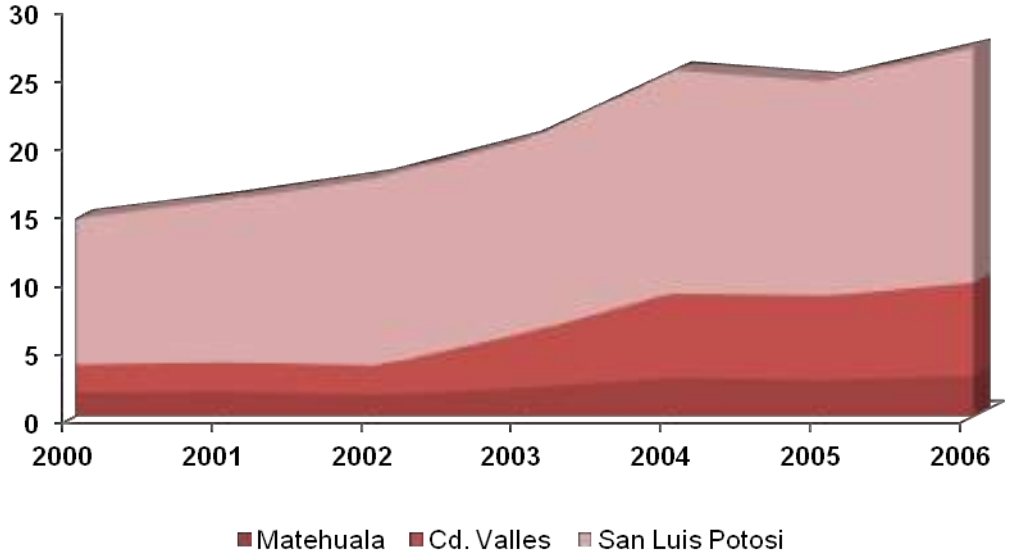


Figura 1. Ingreso de Gasolina por región, 2000-2006
(Petajoules PJ)
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE.

Durante el periodo 2000-2006 se generaron 61,7 PJ por consumo de Bagazo de caña, su uso fue 100% industrial, el origen son los ingenios azucareros ubicados en los municipios de Ciudad Valles, Tamasopo y el Naranjo, el principal consumidor de este combustible es Ciudad Valles con un total 42,58 PJ, el segundo lugar lo ocupó Tamasopo con un total de 19,06 PJ y el tercer consumidor es el Naranjo con 0,03 PJ, las variaciones en los consumos se muestran en la **Figura 2;** en el **mapa 2** se observa a los municipios cañeros de Ciudad Valles, Tamasopo y el Naranjo como los principales y únicos consumidores de la energía generada en el estado a partir del Bagazo de caña.

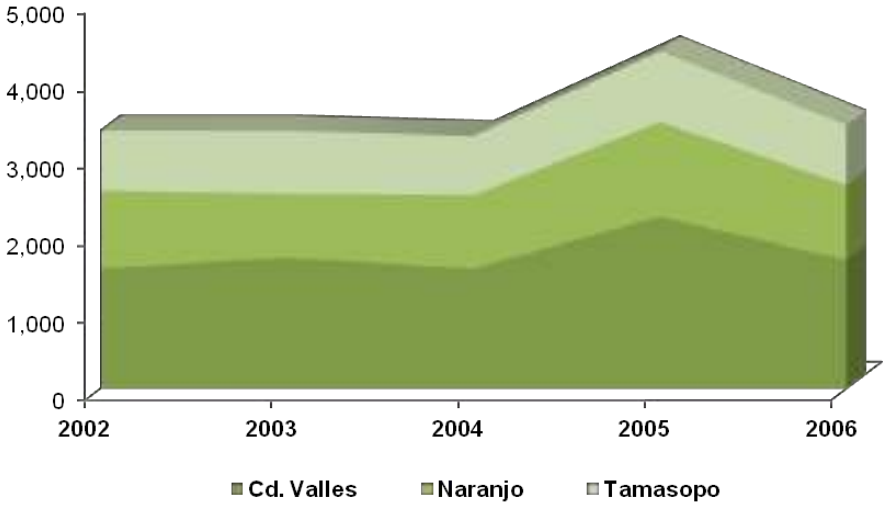


Figura 2. Producción de Bagazo de caña por región, 2000-2006 (Toneladas)

Fuente: Elaboración propia con datos de Unión Nacional de Cañeros, A.C., SEMARNAT

El origen del combustóleo que se consume en San Luis Potosí es Ciudad Madero y durante el periodo 2000-2006 ingresaron al estado 2,2 pJ de Combustóleo ligero y 359,5 pJ de Combustóleo pesado, sumando un Total de 361,7 pJ, el uso principal de esta fuente de energía fue en las subcategorías de generación de Energía pública para la cual se destinaron 286,6 PJ y en segundo lugar para la Industria con 75,2 PJ, las variaciones en el consumo se muestran en la **Figura 3,** donde se observa que para el período 2002 este petrolífero presentó una importante caída en el consumo para generación de energía pública, recuperándose posteriormente en el año 2003; en el contexto nacional encontramos que Durante 2003, la demanda interna de combustóleo se ubicó en 397,0 millones de barriles. La distribución del consumo que los sectores eléctrico, industrial, petrolero y transporte tuvieron fue respectivamente del 73,3%, 15,6%, 10.7% y 0,4%. Al igual que los dos años anteriores, en el 2003 se presentó un decremento de la demanda de un 10,7%, resultado de una disminución de la actividad en el sector industrial y del aumento de la utilización de gas natural en el sector eléctrico público (SENER, 2004). El combustóleo fue el petrolífero que más se utilizó para la generación de energía eléctrica. La demanda de este combustible fue fuertemente influida por el precio del gas natural, la oferta disponible, la tecnología utilizada en las centrales eléctricas, y las características ambientales de la zona donde se utilizó.” (SENER, 2004)

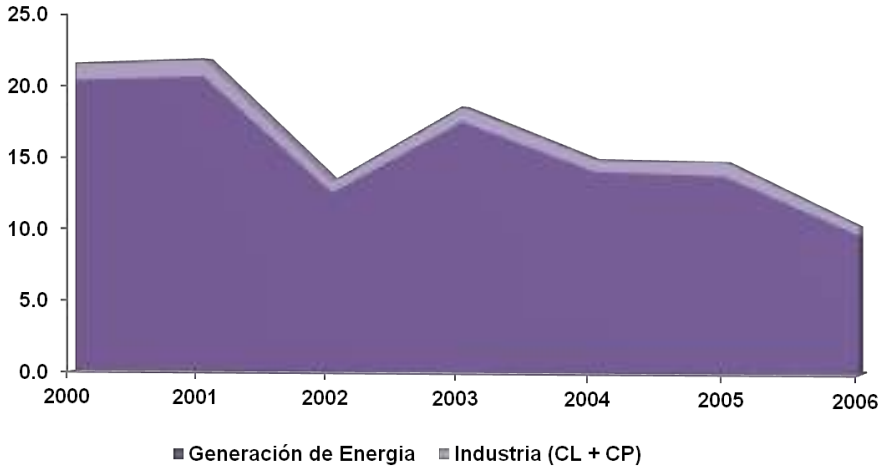


Figura 3. Consumo de Combustóleo por categoría de fuente, 2000-2006 (Miles de Barriles Diarios MBD)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

De la Energía Total destinada para la industria solo el 2,9% es por uso del combustóleo ligero, y su uso es absolutamente industrial (**Figura 4**), los principales consumidores son la Industria de Alimentos, bebidas y tabaco con el 43,6% y la industria de Equipo de transporte con el 39,5%; El combustóleo pesado genera el 97% de la energía destinada a la industria y en la **Figura 5** destaca que 5,.2% es destinado nuevamente a la industria de Alimentos, bebidas y tabaco y el 27,5% es la industria de la construcción.

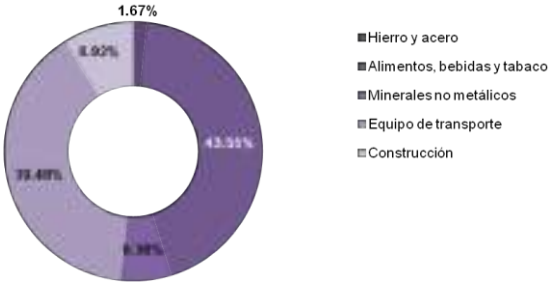
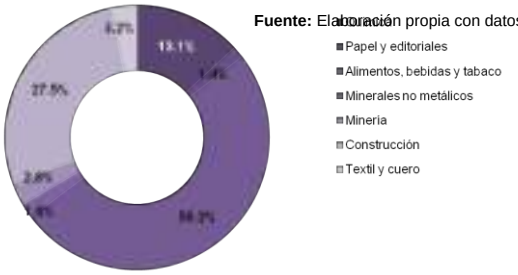


Figura 4. Consumo de Combustóleo Ligero por Sector Industrial, 2000-2006

Figura 5. Consumo de Combustóleo Pesado por Sector Indsutrial, 2000-2006

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT



En el **mapa 3** se puede apreciar donde están ubicados geográficamente los principales consumidores de la Energía por consumo de Combustóleo tanto ligero como pesado, del total de este combustible, el 79% se consume en el municipio de Villa de Reyes para la Generación de Energía Eléctrica del Sector público, los demás municipios destacan por actividad industrial.

El coque de petróleo que se consume en San Luis Potosí tiene dos orígenes en relación al destino donde se consume esta energía, estos pueden ser tanto para la Industria o para la Generación de Energía, en este caso Autogeneración de energía para uso privado.

"El coque de petróleo producido en la refinería de Cd. Madero se consume en conjunto con el coque de petróleo importado de la refinería de Houston para generar una potencia eléctrica de 460 MW mediante el complejo termoeléctrico de Tamuín, San Luis Potosí (2 unidades de 230 MW)." (González, Longoria, & Urquiza, 2008)

De acuerdo con (SENER, 2004) el otro uso que se le da al coque de petróleo en San Luis Potosí es dentro de la industria de la construcción, específicamente producción de cemento.

Con respecto al coque de petróleo producido en la refinería de Cadereyta éste ha sido utilizado fundamentalmente en la industria del cemento (CEMEX)" (González, Longoria, & Urquiza, 2008). El coque de petróleo ha representado un combustible alternativo en la industria, por lo que su demanda ha crecido en los últimos 10 años a una tasa de 26.1%. Dado que actualmente solo se cuenta con dos coquizadoras en el SNR, la producción nacional cubrió 43% de los requerimientos del país a lo largo de 2005, hecho que se tradujo en importaciones por 2,089 millones de toneladas." (SENER, 2006)

Los municipios del estado donde se consume este combustible y de acuerdo a la intensidad de su consumo quedan representados en el **mapa 4** destacando Tamuín, donde se consume el 86.9% de la energía generada a partir del coque de petróleo, hay que señalar que para el periodo 2000-2006 ingresaron al estado 129,7 PJ de los cuáles 92,1 PJ se utilizaron en la Autogeneración de energía para uso privado, cuya cantidad empieza a sumar a partir del año 2003 pues es el año en que comienzan operaciones las termoeléctricas ubicadas en Tamuín (**Figura 6**), y el resto de la energía que equivale a 37,7 PJ fue para la Industria cementera.

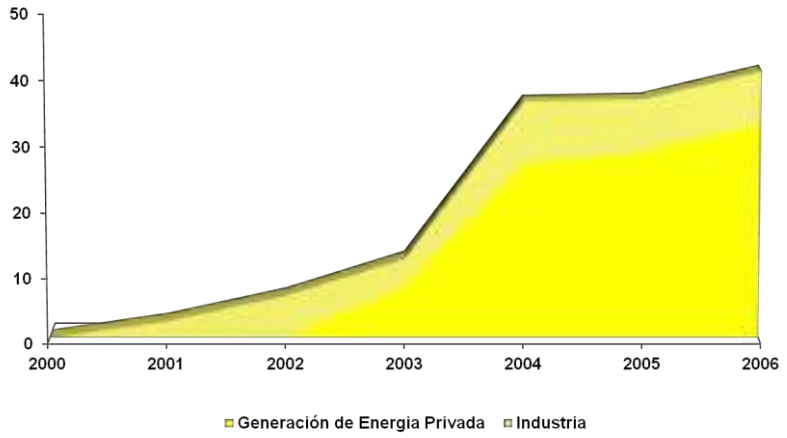


Figura 6. Consumo de Coque de Petróleo por categoría de fuente, 2000-2006 (Miles de Barriles Diarios MBD)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

Después del combustóleo pesado, la gasolina, y el coque de petróleo, el diésel es el combustible que mayor energía genera para el estado, pues durante el periodo 2000-2006 se consumió un volumen equivalente a 95,3 PJ

El diésel ingresa al estado de la misma manera que lo hacen las gasolinas (**cuadro 2**), el mayor por consumo de diésel es en la capital del estado con 72,7 PJ.

Cuadro 2. Ingreso de Energía por consumo de diésel por región, 2000-2006 (petaJulios PJ)

Origen	Refinería de Cadereyta	Refinería de Cd. Madero	Refinería de Tula
Destino	Matehuala	Cd. Valles	San Luis Potosí
Energía	6.6 PJ	15.8 PJ	72.7 PJ

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE

Al entrar al estado la energía se distribuye entre las diferentes subcategorías, tal como lo muestra la **figura 7,** donde se aprecia que la mayor cantidad de esta energía se destinó a satisfacer la demanda de las fuentes móviles, con un consumo para el de estudio 86,3 PJ, energía distribuida en su mayoría entre los cinco municipios que concentran el 77% de la flota vehicular a diésel del estado (**Figura 8**), destacando la zona metropolitana de San Luis Potosí que concentra el 54,2%.

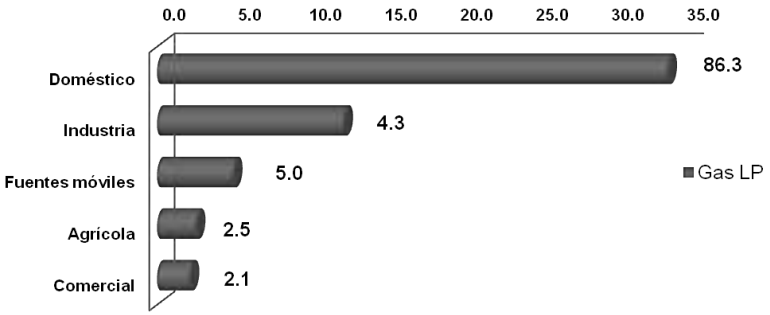


Figura 7. Consumo de diésel por subcategoría, 2000-2006 (Petajulios PJ)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

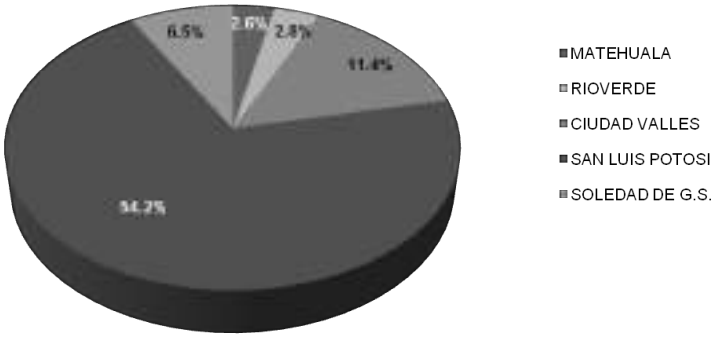


Figura 8. Distribución del parque vehicular a Diesel por municipio, 2000-2006 (Petajoules PJ)

Fuente: Elaboración propia con base de datos del parque vehicular del estado actualizado al año 2009

La Agricultura consumió 4,3 PJ de energía durante el periodo de estudio, principalmente debido al uso de diésel agrícola el cual además esta subsidiado, lo cual favorece su uso, el tercer principal consumidor de diésel es la industria, la cual durante el periodo 2000-2006 consumió 2,8 PJ, la **Figura 9** muestra la demanda energética de diésel que presentaron los diferentes sectores industriales durante el periodo de estudio, donde destaca la industria de la construcción con el 45,7% de la demanda energética total industrial, en menor proporción la Generación de Energía consumió 1,6 PJ, siendo la Generación de Energía Privada o Autogeneración la que consume 1,2 PJ, en contraste con la Generación de Energía Pública que consumió solo 0,4 PJ.

Lo anterior se observa en el **mapa 5**, donde destaca la capital del estado como principal consumidor de diésel por concepto de fuentes móviles.

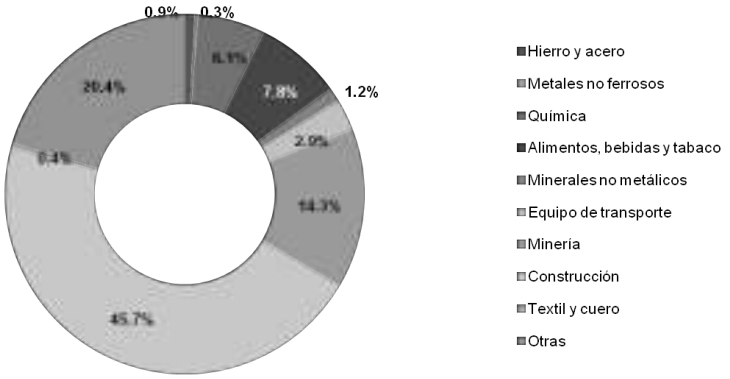


Figura 9. Consumo de diésel por sector Industrial, 2000-2006
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

A nivel nacional para la estimación de esta fuente de energía se han usado metodologías poco claras, con grandes deficiencias e inconsistencias; esto ha ocasionado la subestimación de su participación. (Díaz & Masera, 2003). Por esta razón, para calcular los datos de actividad del consumo de leña se optó por adoptar el dato de consumo de leña per cápita de 2,1 kg/día de Díaz & Masera (2003), el cual fue validado con los datos recabados por el equipo de trabajo del PEACC a través de encuestas de campo.

En el **mapa 6** observamos que el municipio de Tamazunchale tiene el mayor consumo de leña para uso doméstico.

De acuerdo a la regiones económicas de México del Balance Nacional de Energía, San Luis Potosí pertenece a la Región Centro Occidente, con este dato se pudo identificar cual es el origen del gas LP que se consume en el estado.

A pesar de que la región cuenta con la primer refinería construida en México, ubicada en el municipio de Salamanca, Guanajuato, el abastecimiento del mercado interno lo realiza mayoritariamente por las transferencias provenientes de otras regiones (83.3%). Lo anterior debido a que el mayor flujo proviene vía terrestre al transportarse por medio del LPG ducto Cactus-Zapopan, que conecta las áreas productoras del gas LP en la región Sur-Sureste hasta las principales zonas de consumo en el Centro y Centro-Occidente de México.” (SENER, 2010)

Posteriormente llega al estado para almacenarse en plantas privadas de distribución y posteriormente fluir en los diferentes sectores económicos a través de Estaciones de Carburación, ductos privados, autotanques pipa y cilindros (**Figura 10**).

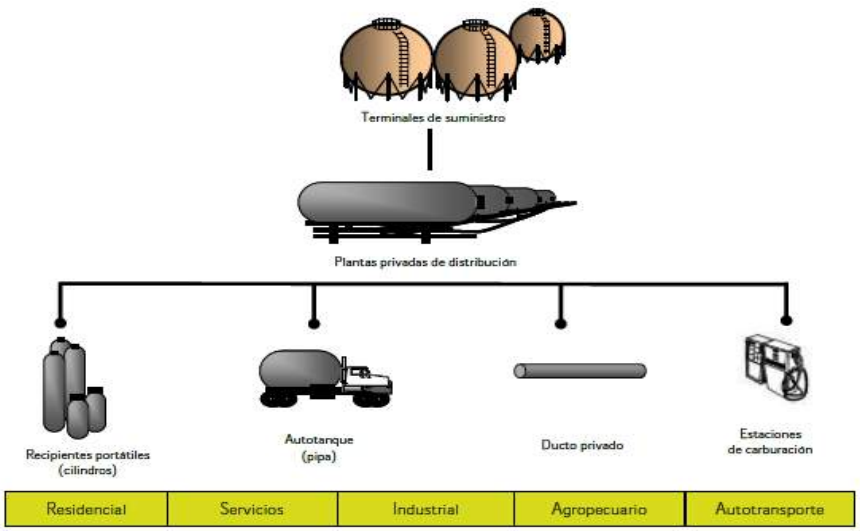


Figura 10. Distribución de Gas LP
Fuente: (SENER, 2010)

Durante el periodo 2000-2006 ingresó al estado un volumen de gas LP equivalente a 55,7 PJ, la mayor demanda corresponde el sector doméstico con 33,8 PJ (**Figura 11**), que representa un 60.6% de la demanda total, seguido de la Industria con 12,3 PJ, la **Figura 12** muestra que la Industria de la Minería es el consumidor principal de gas LP con el 43,1% de la demanda total de la industria, las fuentes móviles consumieron 5 PJ, le siguen el sector agrícola con 2,5 PJ y el último es el sector comercial con 2,1 PJ. El **mapa 7** muestra que la zona conurbada de San Luis Potosí consumió el mayor volumen de Gas LP, de acuerdo con el XI Censo General de Población y Vivienda 1990 y XII Censo General de Población y Vivienda 2000 realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (**INEGI**) para el año 2000 las viviendas donde se emplea gas para cocinar presentan grandes contrastes; mientras que en San Antonio, en 5 de cada 100 viviendas usan dicho combustible, en Soledad de Graciano Sánchez y San Luis Potosí la proporción asciende a 98 y 97 de cada 100, respectivamente; con excepción de Santa Catarina, los municipios de menor proporción están ubicados en la zona huasteca del estado, con porcentajes por debajo de los dieciocho puntos porcentuales; los principales factores que inciden en la poca utilización de este combustible en las viviendas, están la orografía, la distancia y la dispersión de viviendas, entre otros. (INEGI , 2000)

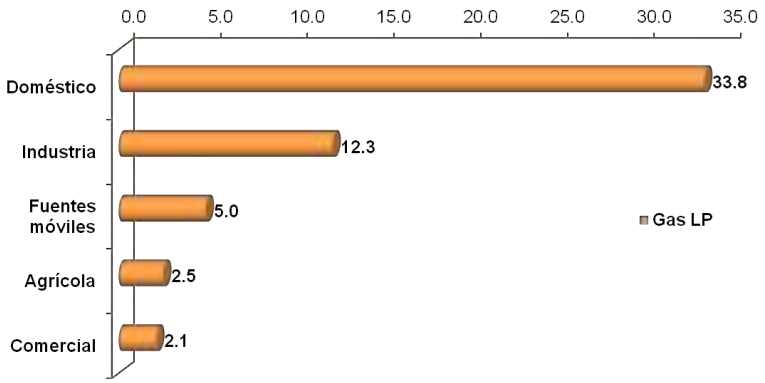


Figura 10. Consumo de Gas LP por subcategoría de Energía, 2000-2006 (Petajoules PJ)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

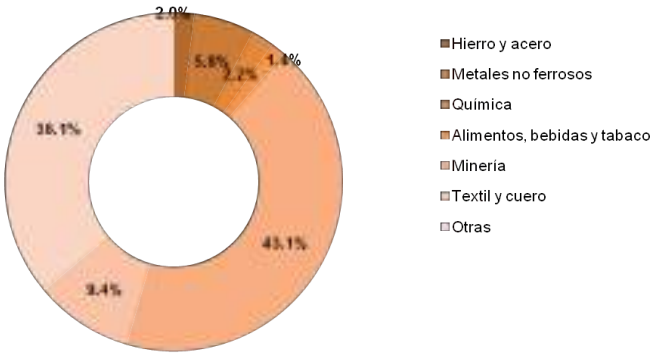


Figura 11. Consumo de Gas LP por sector Industrial, 2000-2006

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

Pemex-Gas y Petroquímica Básica suministra gas natural (GNL) a San Luis Potosí mediante el ducto de transporte de 16 pulgadas cuyo trayecto es de Querétaro a San Luis Potosí, el cual abastece a la red de distribución de 16 y 24 pulgadas respectivamente, en la cual se encuentran instalados 21 usuarios industriales en el centro de población de San Luis Potosí. (CRE, 1999)

México inició importaciones de GNL en 2006 con las operaciones de la Terminal de GNL en Altamira. Las importaciones provienen de Nigeria, Qatar, Egipto y Trinidad y Tobago. Dicho gas tuvo dos destinos, una parte se envió a la Central de Altamira V (central eléctrica de ciclo combinado), y la otra fue inyectada al SNG. Pemex Gas y Petroquímica Básica lo trasladó y, finalmente, la CFE lo asignó a otras centrales generadoras de electricidad en los estados de México, Hidalgo, San Luis Potosí y Veracruz. (Ramírez, 2008)

Durante el período de estudio ingresó al estado un volumen de GNL equivalente a 63,5 PJ, de los cuáles como puede apreciarse en la **Figura 13**, 61,7 PJ se consumieron en la industria, siendo la industria de Minerales no metálicos el principal

consumidor con el 51,2% del total (**Figura 14**), le siguen la industria del Hierro y del acero y la del papel y editoriales con el 14.5% y 13.7% respectivamente.

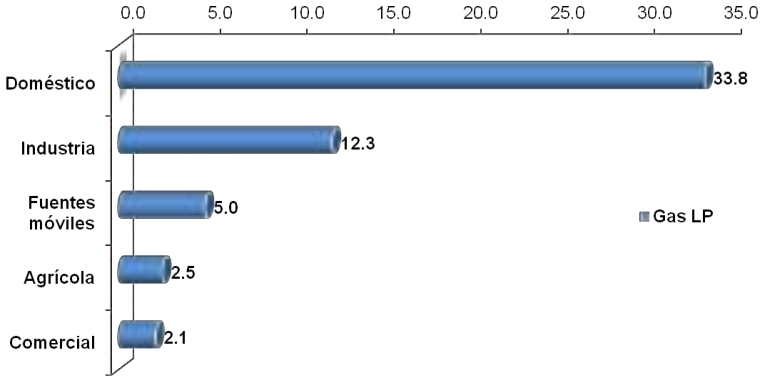


Figura 13. Consumo de Gas Natural por subcategoría de Energía, 2000-2006 (Petajulios PJ)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

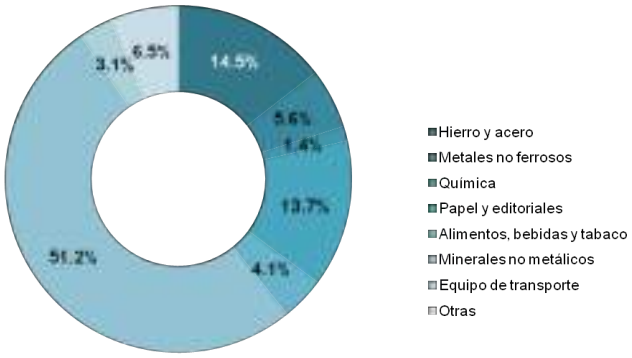


Figura 14. Consumo de Gas Natural por sector Industrial, 2000-2006

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, SIE, SEMARNAT

El sector doméstico consumió 1,4 PJ del total, actualmente solo una fracción muy pequeña de hogares de la zona metropolitana tienen acceso al gas natural; el sector comercial demandó 0,3 PJ, por último la Generación de energía pública demando solo 0,1 PJ durante el período de estudio.

El **mapa 8** muestra a la capital del estado como la región donde se concentra la mayor demanda de gas natural, lo cual es racional si analizamos que en la capital solo una fracción de hogares y por lo tanto comercios tienen acceso al gas natural y estos están ubicados en la zona metropolitana.

Durante el periodo de estudio se utilizaron en el estado 30 963 621,0 Mega Watts hora (MWh), siendo la industria el principal consumidor con 21 632 599 MWh, que equivalen en porcentajes al 69.9% (este dato se agrupan las cifras de consumo reportadas por la CFE tanto de la mediana industria como de la gran industria), el segundo mayor consumidor fueron los hogares potosinos con 5 286 202 MWh

equivalente al 17,1%, el comercio demando 1 696 934 MWh lo que representa el 7,6% del consumo total (esta cifra agrupa los datos reportados por la CFE tanto para los sectores comercial e institucional), el sector agrícola ocupa el cuarto sitio con una demanda 1 696 934 MWh que corresponde al 5,5% de la demanda total de electricidad en el estado (**Figura15**).

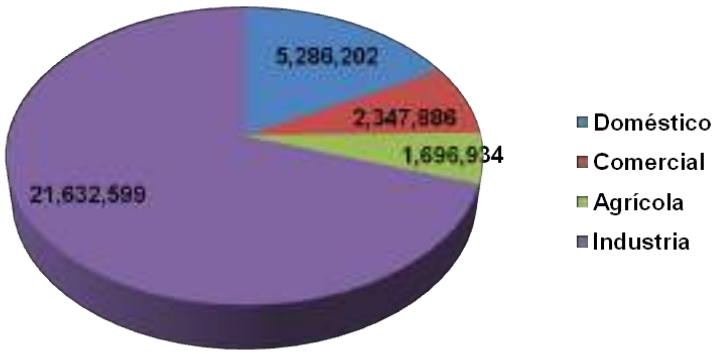


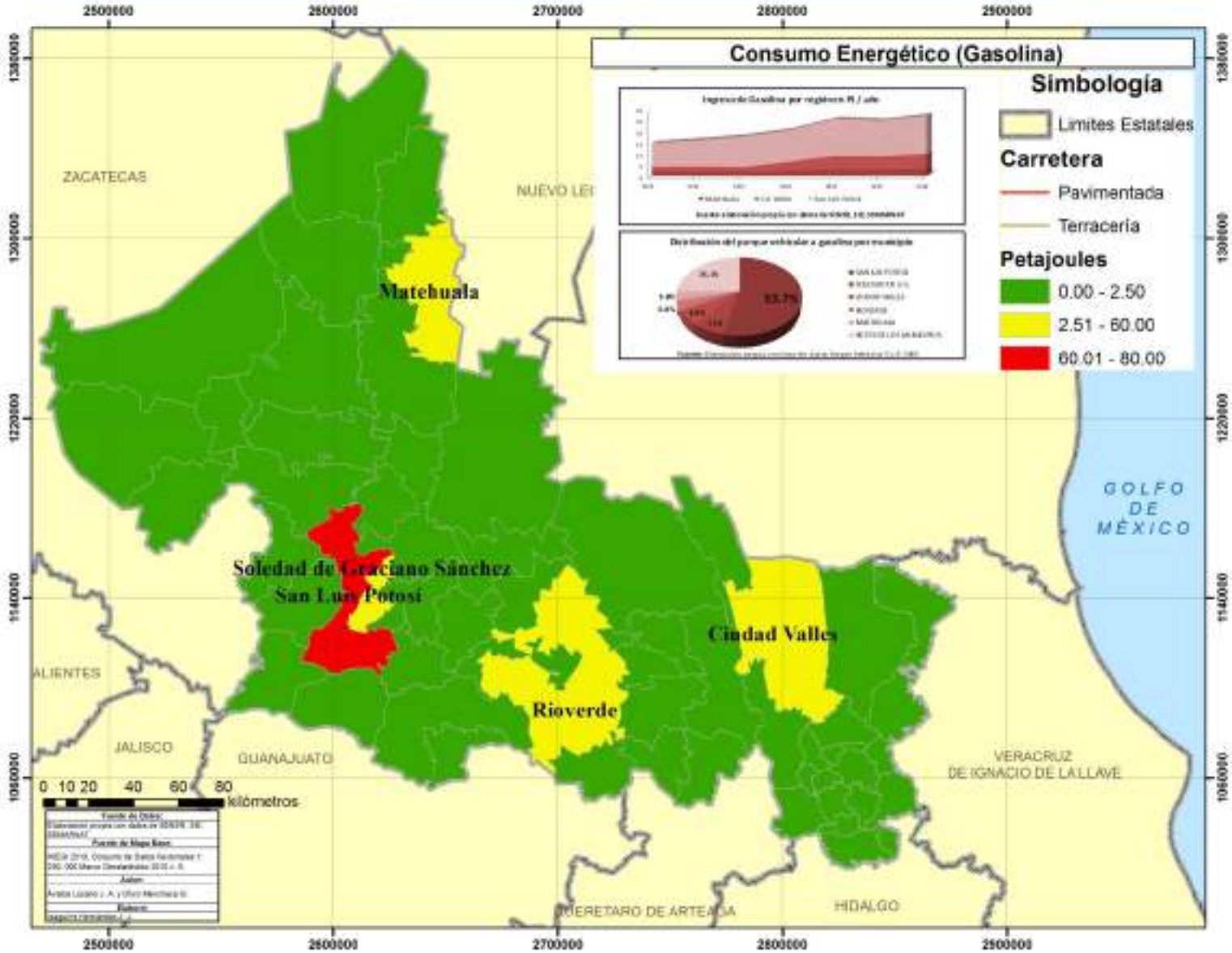
Figura 15. Consumo estatal de energía eléctrica por subcategoría, 2000-2006
(Mega Watts por hora MWh)
Fuente: Elaboración propia con datos de CFE

El Superintendente General de la Termoeléctrica de Villa de Reyes mediante comunicación personal informó que el área de Generación a la cual pertenece la Central Villa de Reyes, tiene como función primordial generar la energía eléctrica que el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) le mande, misma que es entregada al área de transmisión para que sea transportada a los centros de distribución que la requieran." (Ramírez R. , 2013)

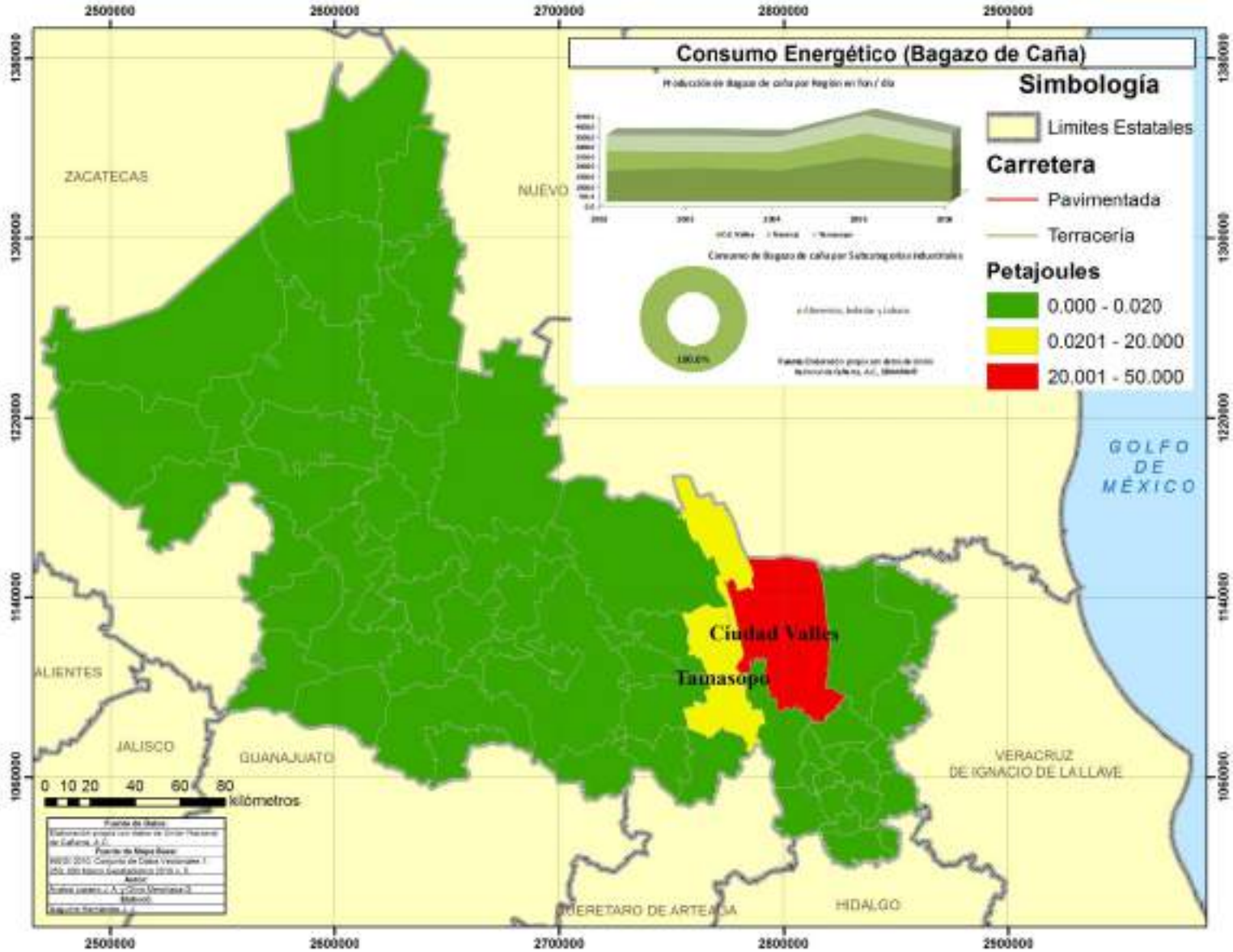
La demanda total de electricidad para el San Luis Potosí durante el periodo de estudio fue de 30 963 621,0 MWh, para el mismo periodo se generaron 26 526 649,9 MWh en la Termoeléctrica de Villa de Reyes, lo cual de acuerdo al **Cuadro 3** muestra un déficit entre la oferta y la demanda.

Cuadro 3. Relación entre la Oferta y la Demanda generada
en el estado durante el periodo 2000-2006

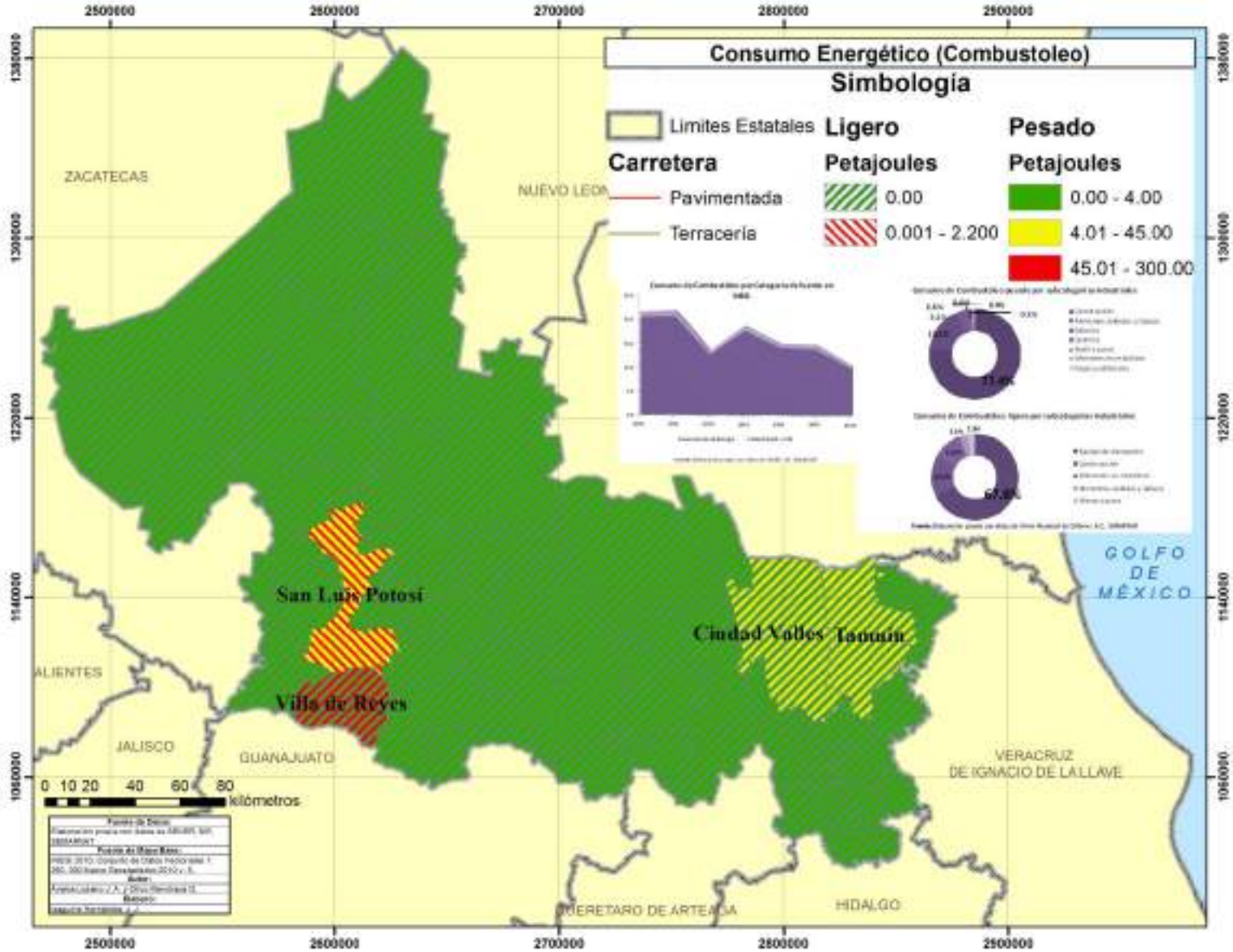
Oferta	26,526,649.9
Demanda	30,963,621.0
Diferencia	-4,436,971.1



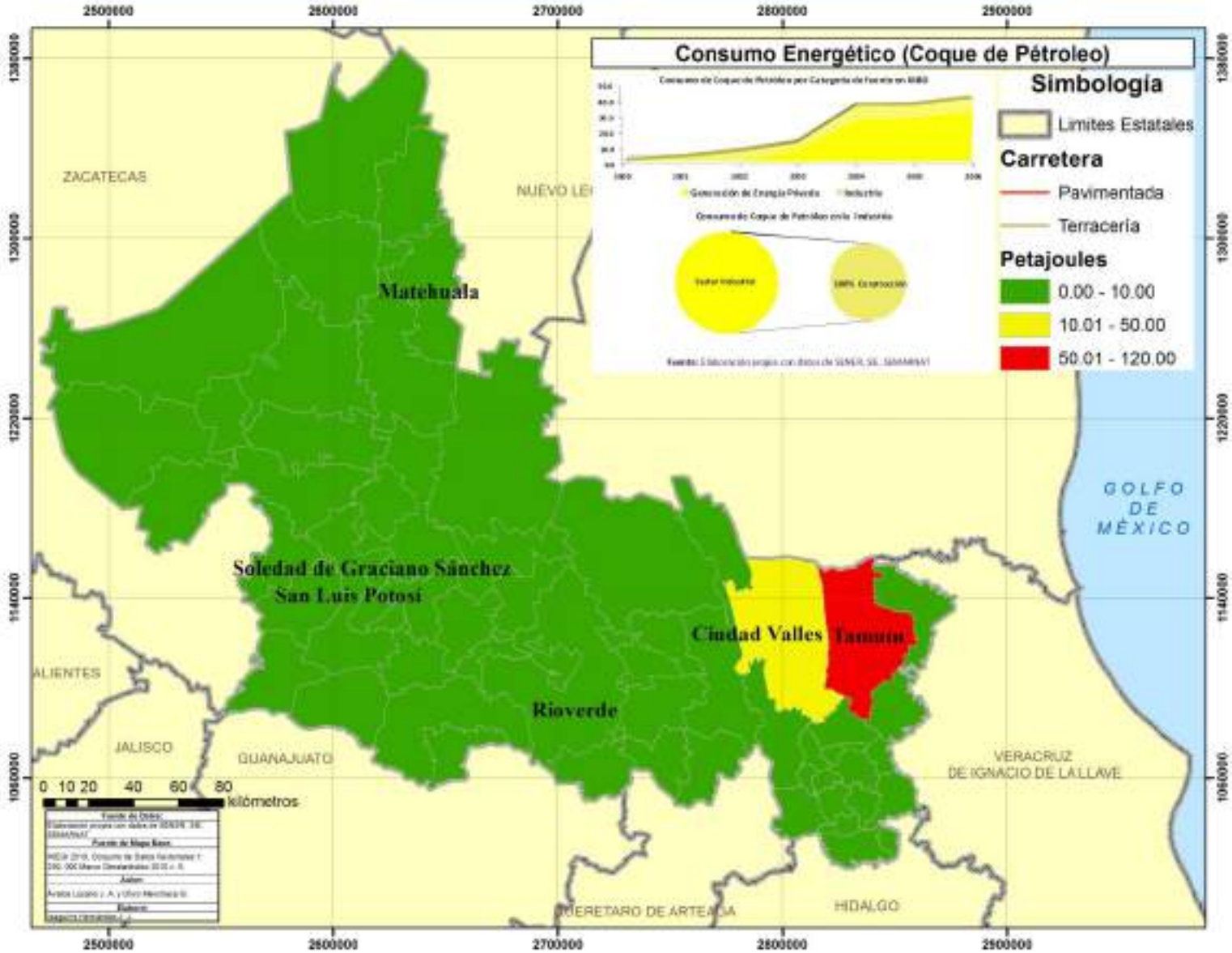
Mapa 1 Actividad energética por consumo de Gasolina para el periodo de estudio 2000-2006



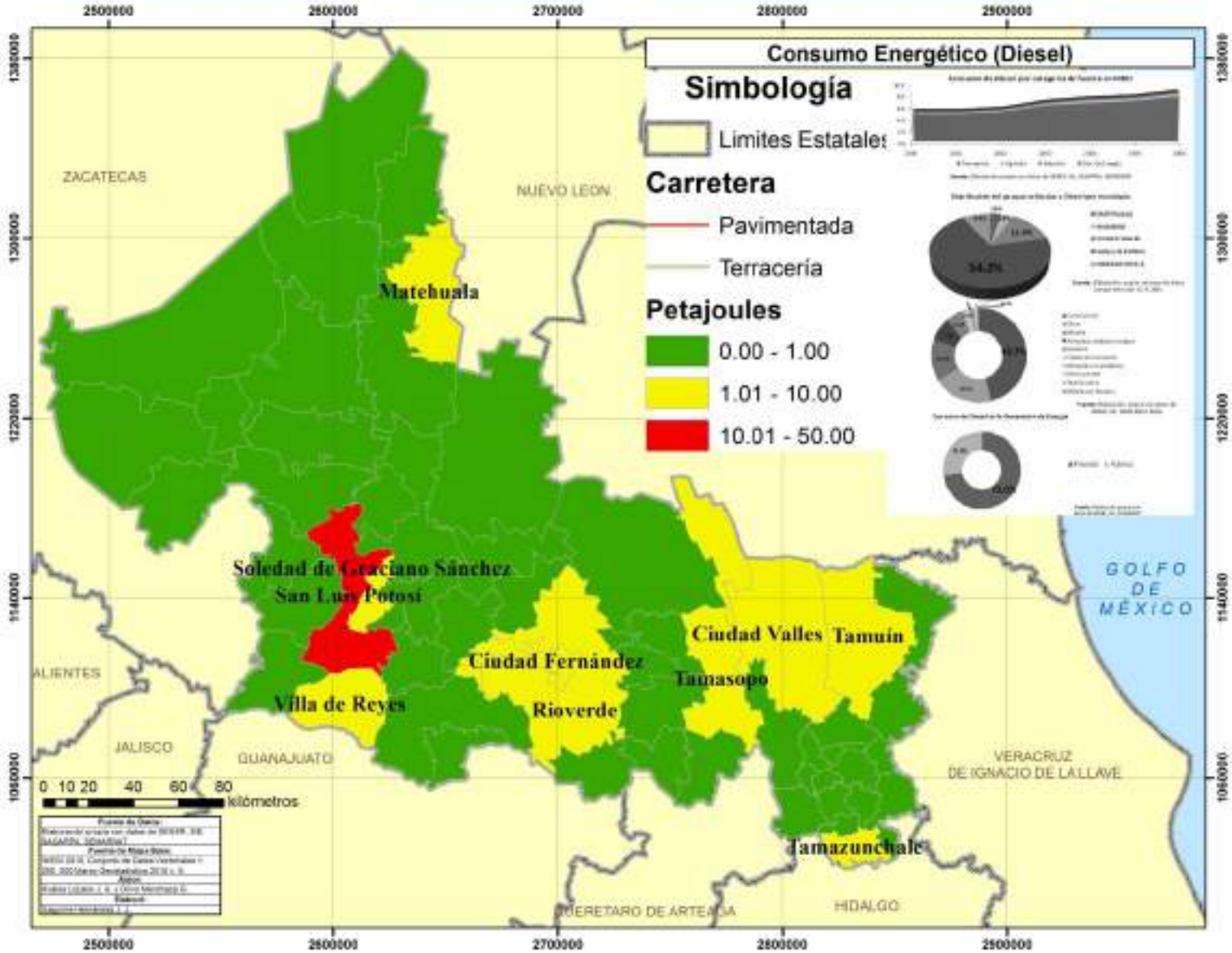
Mapa 2 Actividad energética por consumo de **Bagazo de Caña** para el periodo de estudio 2000-2006



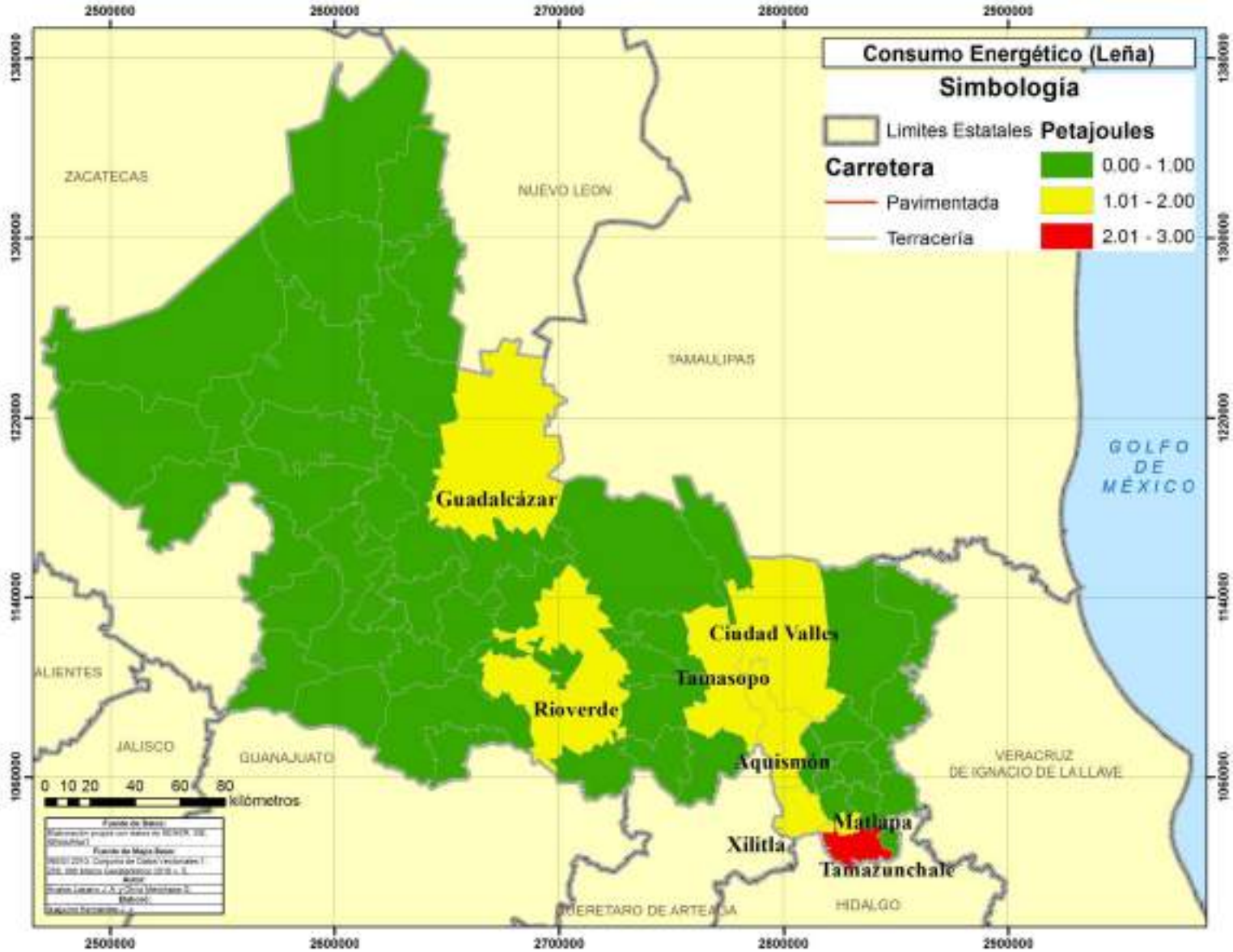
Mapa 3 Actividad energética por consumo de Combustóleo para el periodo de estudio 2000-2006



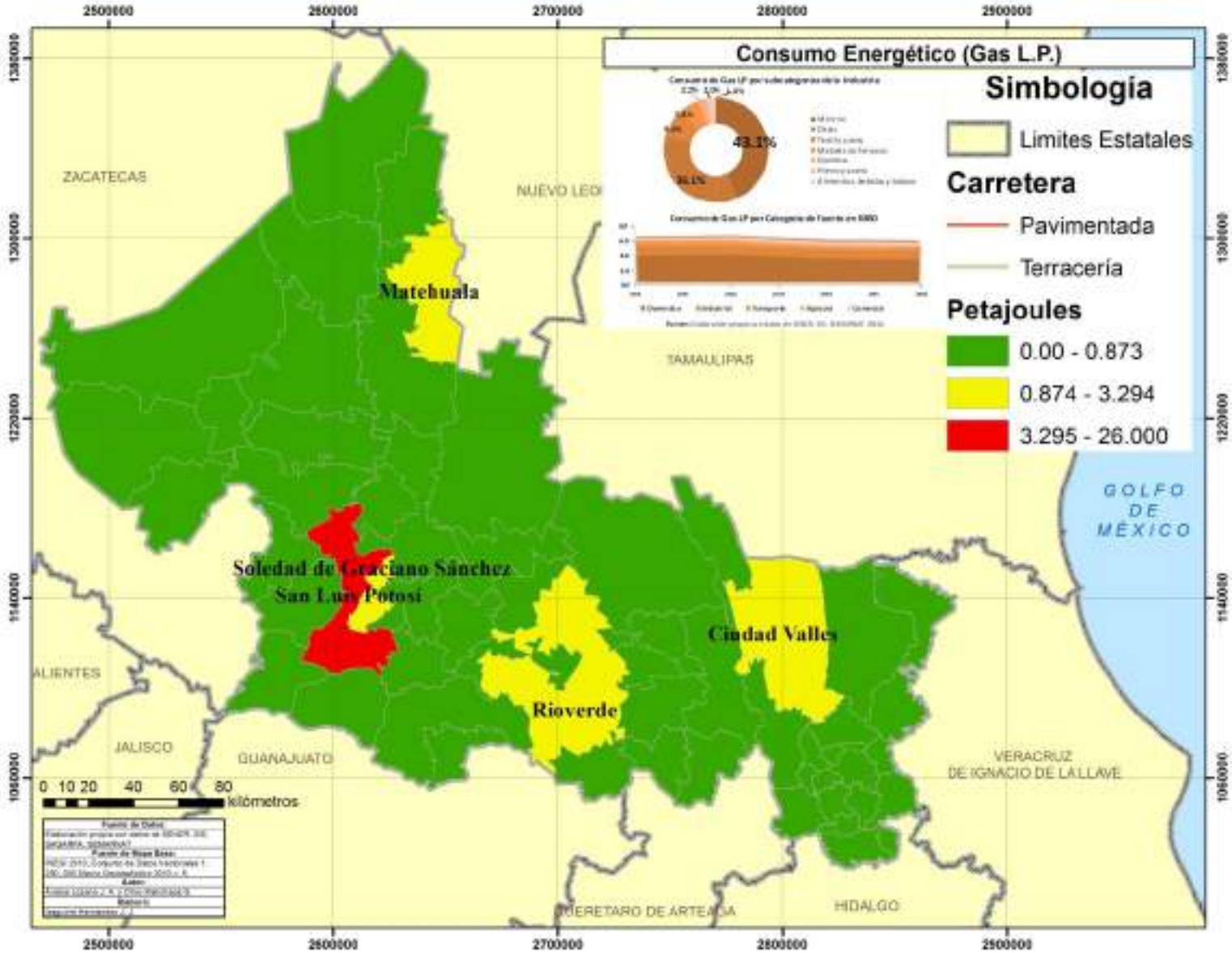
Mapa 4 Actividad energética por consumo de Coque de Petróleo para el periodo de estudio 2000-2006



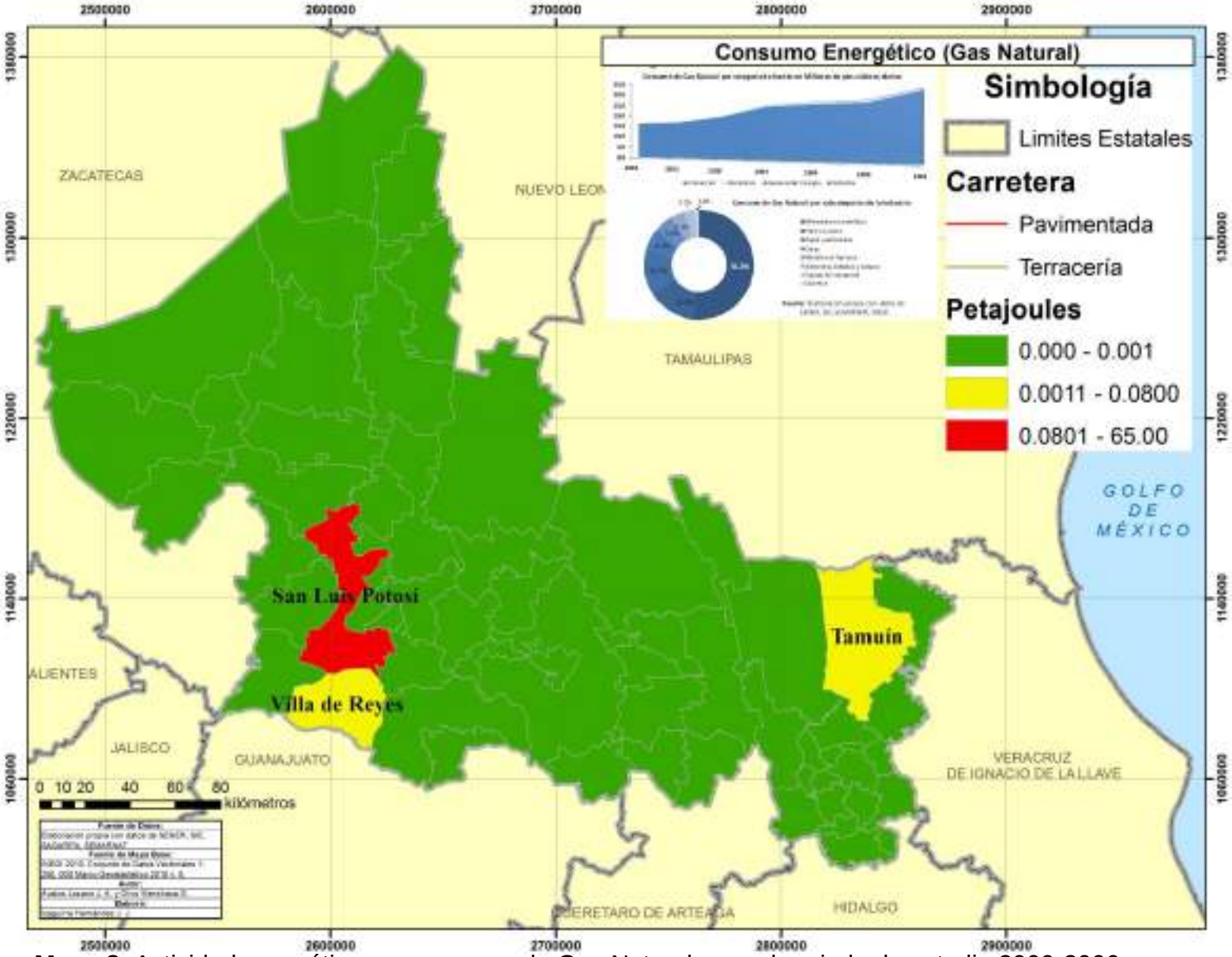
Mapa 5 Actividad energética por consumo de diésel para el periodo de estudio 2000-2006



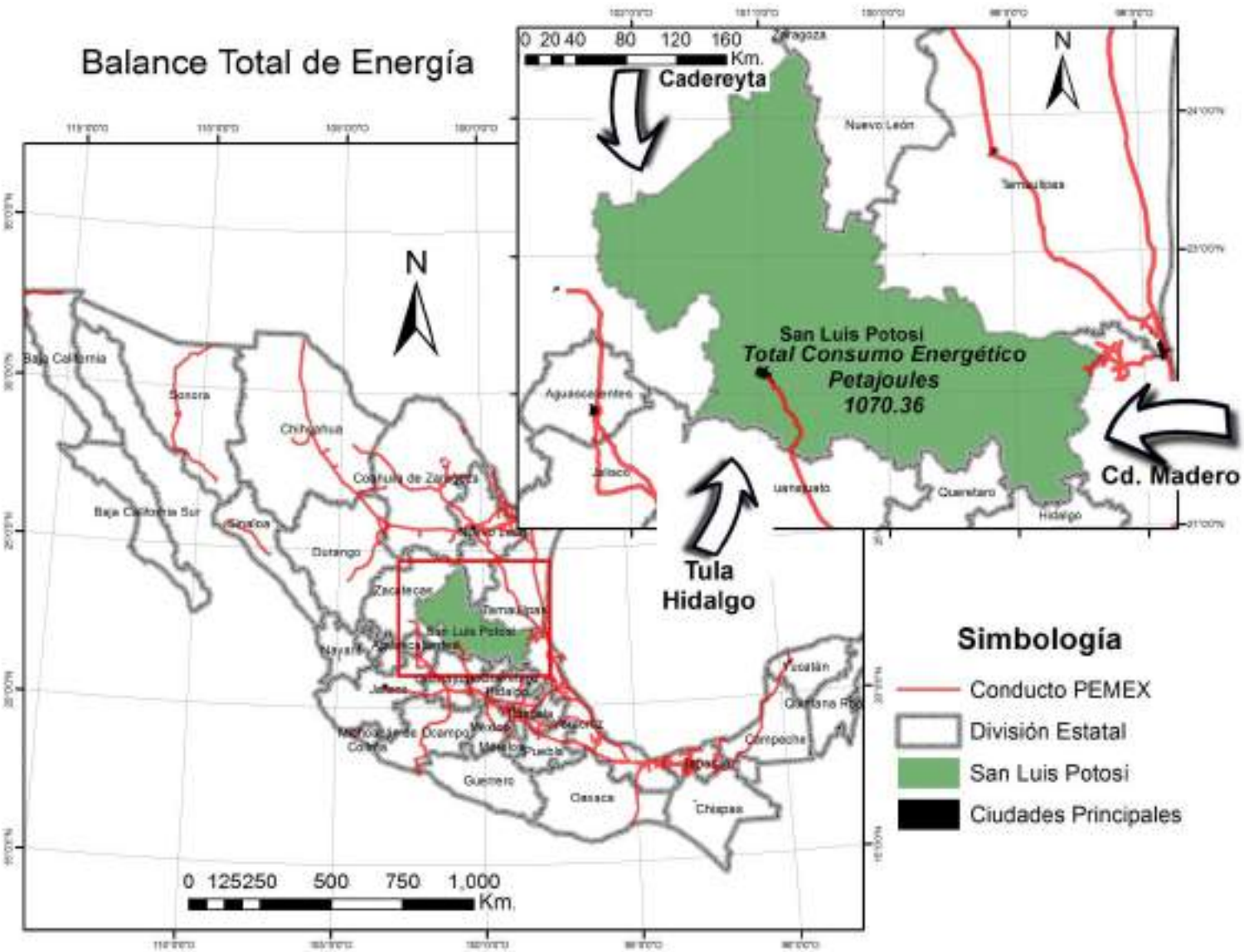
Mapa 6 Actividad energética por consumo de Leña para el periodo de estudio 2000-2006



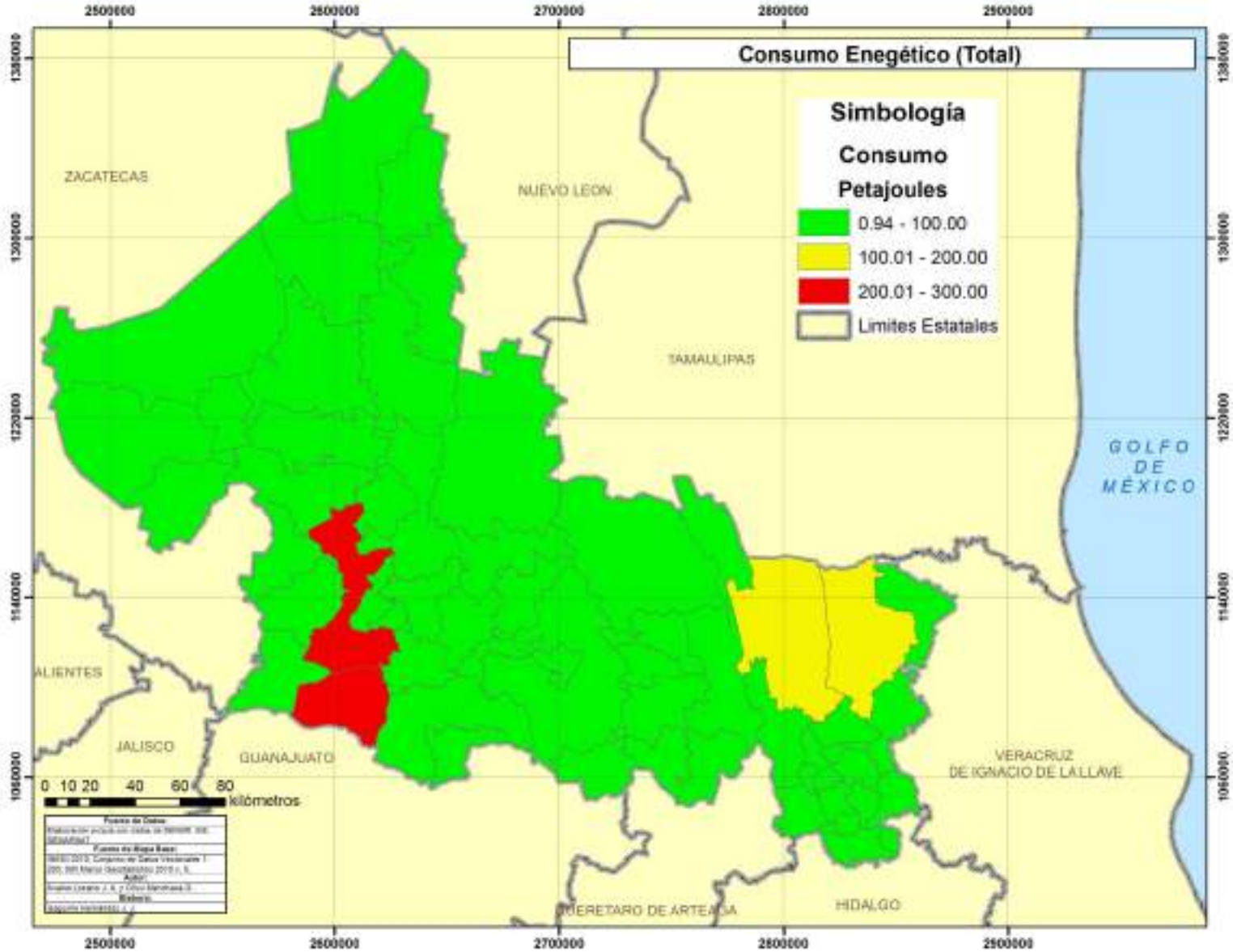
Mapa 7 Actividad energética por consumo de Gas LP para el periodo de estudio 2000-2006



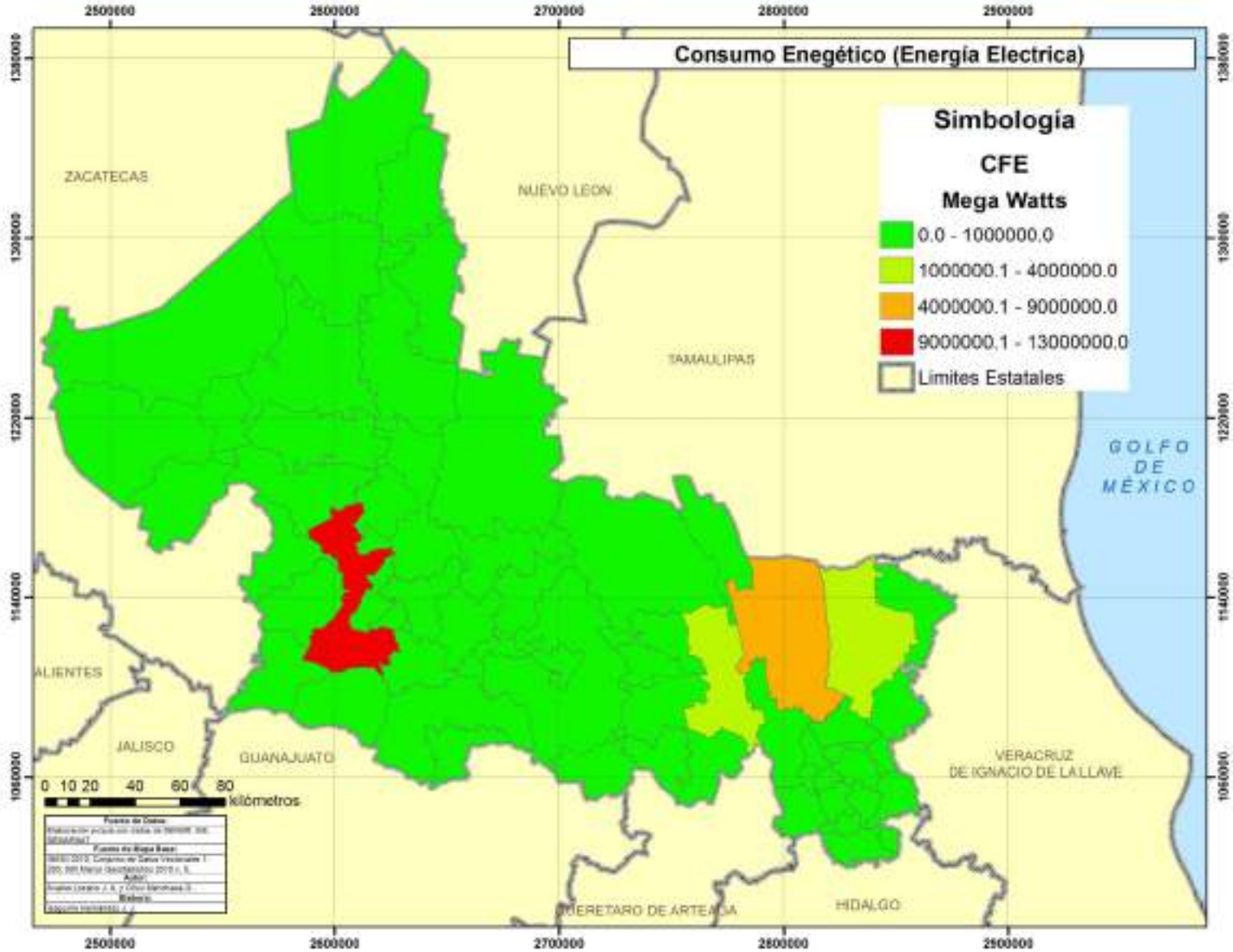
Mapa 8 Actividad energética por consumo de Gas Natural para el periodo de estudio 2000-2006



Mapa 9 Balance Estatal de Energía del estado de San Luis Potosí para el periodo de estudio 2000-2006



Mapa 10. Consumo energético por municipio para el periodo de estudio 2000-2006



Mapa 11. Consumo de energía eléctrica por municipio para el periodo de estudio 2000-2006

Bibliografía

CRE. (1999). Se distribuira gas natural en el Norte del Bajio. *Boletín de prensa*, (pág. 3). México D.F.

Díaz, R., & Masera, O. (2003). Estudios energéticos, 1. Uso de leña en México: situación actual, retos y oportunidades. *Balance Nacional de Energía 2002* . D.F., México: Secretaría de Energía.

Díaz, R., & Masera, O. (2003). Estudios energéticos, 1.Uso de la leña en México: situación actual, retos y oportunidades. En SENER, *Balance nacional de energía 2002* (págs. 99-111). México, D.F.: Secretaría de Energía.

González, J., Longoria, R., & Urquiza, G. (2008). Resultados de la simulación de gasificación del coque de petróleo mexicano de las refinerías de Ciudad Madero y Cadereyta . *Ingeniería Investigación y Tecnología* , 99-111.

INEGI . (2000). *Perfil sociodemográfico San Luis Potosí XII Censo General de Población y Vivienda 2000.* México, D.F.: INEGI.

INE-SEMARNAT. (2009). *México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* México, D.F.: Impreso y hecho en México.

Irastorza, V., & Fernández, X. (2010). Balance Nacional de Energia y su relación con el Inventario Nacional de Emisiones. *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía* , 52-72.

Ramírez, J. (2008). El papel del gas natural en la expansión de la industria eléctrica en México. *Economía informa* , 80-97.

Ramírez, R. (10 de Junio de 2013). Solicitud de información de la Termoélectrica Villa de Reyes al Superintendente General. (G. Olivo, Entrevistador) San Luis Potosi, S.L.P., México.

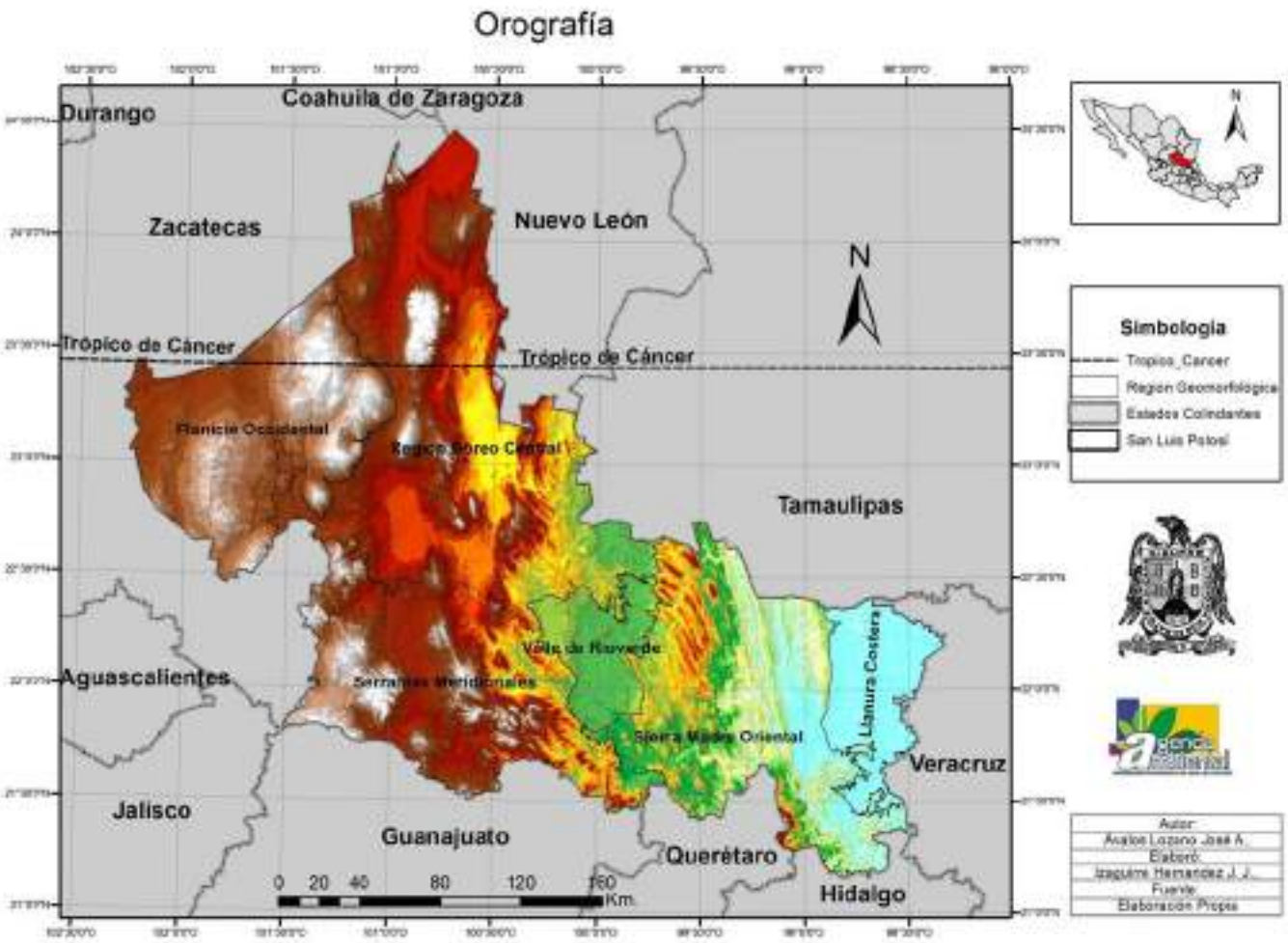
SENER. (2004). *Prospectiva de petrolíferos 2004 - 2013.* México, D.F.: SENER.

SENER. (2006). *Prospectiva de petrolíferos 2006-2015.* México, D.F.: Secretaría de Energía.

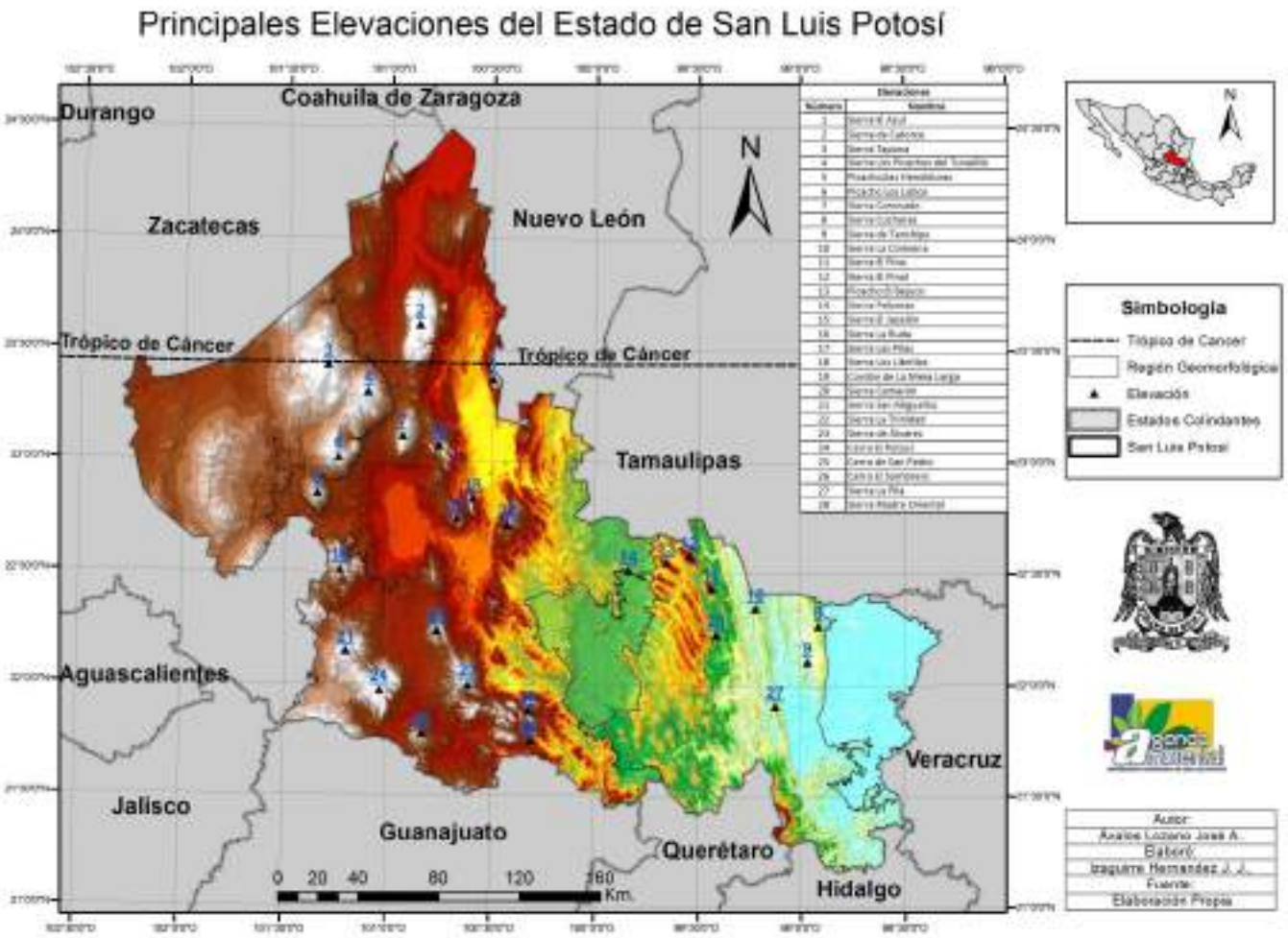
SENER. (2010). *Prospectiva del Mercado de Gas LP 2010-2025.* México, D.F.: SENER.

4. Definición de las Unidades de Gestión de Riesgos Climáticos (UGAC), del estado de San Luis Potosí

Se realizó la regionalización de las Unidades de Gestión de Riesgos asociados al cambio climático, para el estado de San Luis Potosí, con base en las Unidades Geomorfológicas de (Rzedowski, 1966), corregidas con base en imágenes de satélite. Las regiones determinadas fueron: Planicie Costera Nor-Oriental; Sierra Madre Oriental; y Región Altiplano, que incluye las subregiones Llanura de Rioverde, Serranías Meridionales, Región Bóreo-Central, Planicie Occidental. Para cada región y subregión se delimitaron las diferentes subcuencas.



Mapa 4.1 Regiones Geomorfológicas de San Luis Potosí.



Mapa 4.2 Sierras y elevaciones principales de San Luis Potosí.

A partir de la primera regionalización, el siguiente paso para la delimitación de las Unidades de Gestión de Riesgos Climáticos fue el de *cuenca hidrográfica*; estas son "Unidades morfográficas superficiales, delimitadas por divisorias (*parteaguas*) desde las cuales escurren aguas superficiales" hacia un punto común (H. Cotler, A Garrido, R. Mondragón, A. Díaz., 2007: 4). Estas unidades presentan límites bien definidos de ahorro de interacciones, lo que permite aislar entradas, salidas y flujos de agua, materiales, energía, organismos. Las cuencas son expresiones naturales del paisaje definidas por su funcionamiento y aisladas físicamente, por esta razón – afirman Manuel Maass y Helena Cotler (2007) – muchos de los procesos que controlan la dinámica del paisaje son contenidos en estos espacios.

La cuenca *hidrográfica* contiene un sistema con integridad funcional, constituido por elementos físicos, biológicos y socioeconómicos articulados. Al interior, las cuencas se pueden delimitar o subdividir en sub-cuencas o cuencas de orden inferior (H. Cotler, A. Priego , 2004). Para el estado de San Luis Potosí las cuencas pueden ser: exorreicas, que son las que vierten su escorrentía superficial hacía el mar; endorreicas, aquellas que drenan hacia un cuerpo de agua interior; y arreicas con un drenaje superficial que se infiltra antes de llegar a un colector (H. Cotler, A Garrido, R. Mondragón, A. Díaz., 2007). Las ***cuencas hidrográficas*** utilizadas son las delimitadas en el mapa: INEGI-INE-CONAGUA, 2007*. Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México escala 1:250 000. Cartografía en formato digital. México*.

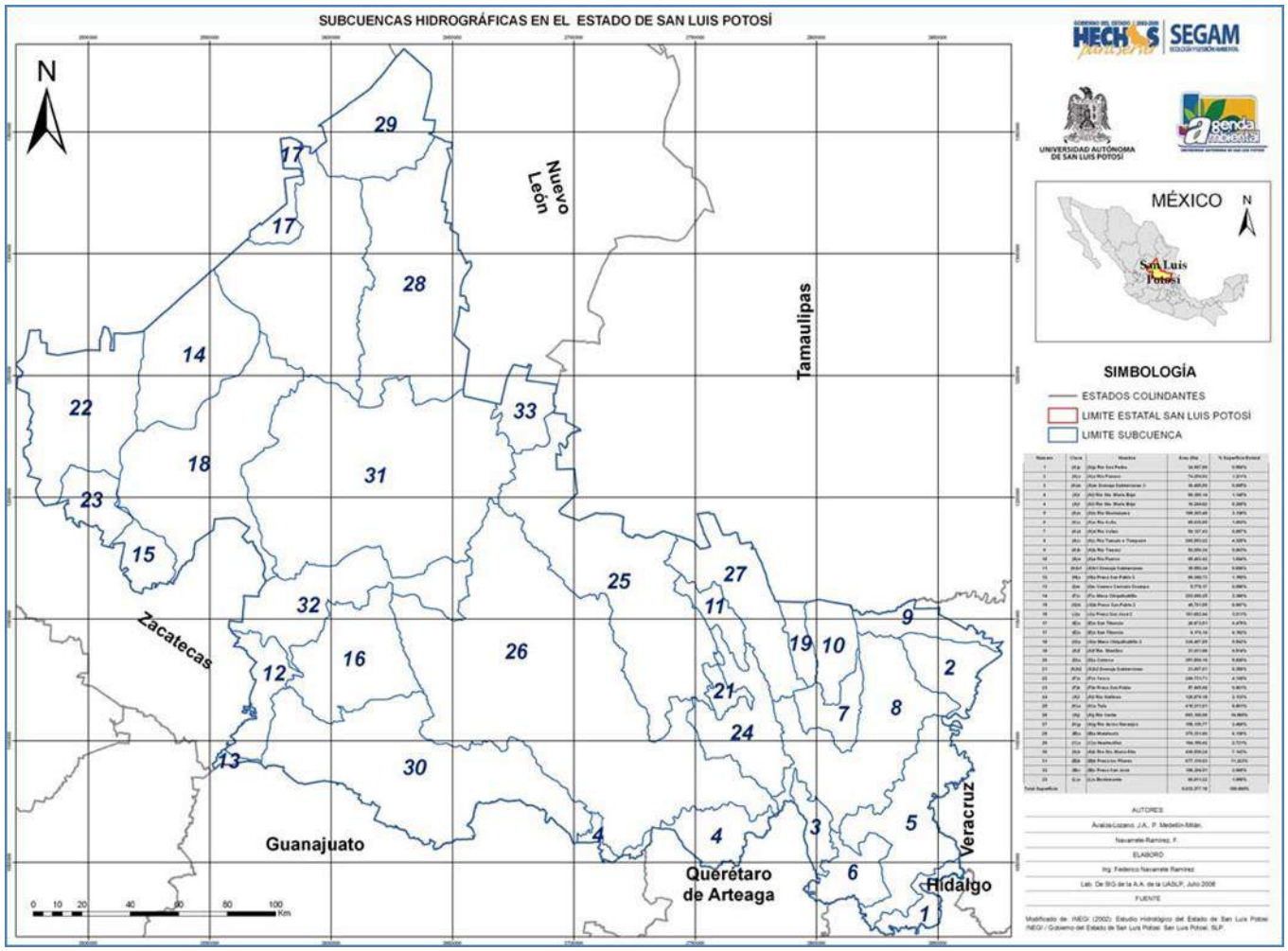
Para el caso de San Luis Potosí se obtuvieron las cuencas representadas por sobreposición; utilizando como mapa base el *Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México INEGI-INE-CONAGUA 2007;* al que se sobrepuso el mapa de la circunscripción territorial del estado. El total de cuencas presentes en San Luis Potosí asciende a 14, sin embargo, dos fueron eliminadas por la pequeña superficie estatal que ocupan (Lerma-Chápala con 4 ha y Cerrito de Vacas que ocupa 184,68 ha); por lo tanto se considera que en el estado de San Luis Potosí existen 12 cuencas. Al mapa INEGI-INE-CONAGUA 2007 se sobrepuso la carta estatal de hidrología superficial del INEGI 2002 y la carta hidrológica de aguas superficiales escala 1: 250 000 del INEGI, realizando los ajustes pertinentes se dividieron las doce cuencas en treinta y tres subcuencas. Los resultados del estudio se presentan cartografiados por ***subcuenca,*** en la tabla 4.1, las subcuencas se representan en el mapa 4.3

Región hidrológica	CUENCA		SUBCUENCA			ÁREA_(HA)	% DEL EDO
NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	NO.	CLAVE	NOMBRE		
RH-12 Lerma-Santiago	(I)	(I) Río Santiago	13	(I)m	(I)m Cuenca Cerrada Ocampo	5,778.17	0.10%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	2	(A)a	(A)a Río Panuco	74,254.93	1.23%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	9	(A)b	(A)b Río Tamesí	52,056.34	0.86%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	8	(A)c	(A)c Río Tamuín o Tampaón	260,953.22	4.33%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	7	(A)d	(A)d Río Valles	54,127.43	0.90%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	10	(A)e	(A)e Río Puerco	65,403.42	1.08%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	19	(A)f	(A)f Río Mesillas	31,011.96	0.51%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	27	(A)g	(A)g Río de los Naranjos	150,139.77	2.49%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	11	(A)h1	(A)h1 Drenaje Subterráneo	39,550.34	0.66%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	21	(A)h2	(A)h2 Drenaje Subterráneo	21,667.01	0.36%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	24	(A)i	(A)i Río Gallinas	128,679.18	2.13%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	26	(A)j	(A)j Río Verde	903,160.08	14.97%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	30	(A)k	(A)k Río Sta. María Alto	430,938.24	7.14%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	4	(A)l	(A)l Río Sta.. María Bajo	69,300.14	1.15%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	4	(A)l	(A)l Río Sta.. María Bajo	16,244.82	0.27%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	3	(A)m	(A)m Drenaje Subterráneo 3	36,485.59	0.60%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	5	(A)n	(A)n Río Moctezuma	189,303.48	3.14%

Región hidrológica	CUENCA		SUBCUENCA			ÁREA_(HA)	% DEL EDO
NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	NO.	CLAVE	NOMBRE		
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	6	(A)o	(A)o Río Axtla	65,916.85	1.09%
RH-26 Panuco	(A)	(A) Río Panuco	1	(A)p	(A)p Río San Pedro	34,987.89	0.58%
RH-37 El Salado	(B)	(B) Cuenca Interior de Matehuala	28	(B)a	(B)a Matehuala	370,331.90	6.14%
RH-37 El Salado	(B)	(B) Cuenca Interior de Matehuala	31	(B)b	(B)b Presa los Pilares	677,119.03	11.22%
RH-37 El Salado	(B)	(B) Cuenca Interior de Matehuala	32	(B)c	(B)c Presa San José	186,394.51	3.09%
RH-37 El Salado	(C)	(C) El Saltillero	29	(C)a	(C)a Huertecillas	164,150.42	2.72%
RH-37 El Salado	(D)	(D) El Salado	20	(D)a	(D)a Catorce	351,509.10	5.83%
RH-37 El Salado	(E)	(E) Arroyo El Pato	17	(E)a	(E)a San Tiburcio	28,672.51	0.48%
RH-37 El Salado	(E)	(E) Arroyo El Pato	17	(E)a	(E)a San Tiburcio	9,170.14	0.15%
RH-37 El Salado	(F)	(F) Lago Santa Clara	22	(F)a	(F)a Yesca	249,731.71	4.14%
RH-37 El Salado	(F)	(F) Lago Santa Clara	23	(F)b	(F)b Presa San Pablo	57,965.08	0.96%
RH-37 El Salado	(F)	(F) Lago Santa Clara	14	(F)c	(F)c Mesa Chiquihuitillo	203,090.25	3.37%
RH-37 El Salado	(G)	(G) Lago La Mesilla	18	(G)a	(G)a Mesa Chiquihuitillo 2	334,407.85	5.54%
RH-37 El Salado	(G)	(G) Lago La Mesilla	15	(G)b	(G)b Presa San Pablo 2	48,701.55	0.81%

Región hidrológica	CUENCA		SUBCUENCA			ÁREA_(HA)	% DEL EDO
NOMBRE	CLAVE	NOMBRE	NO.	CLAVE	NOMBRE		
RH-37 El Salado	(H)	(H) Lago Sartenejo	12	(H)a	(H)a Presa San Pablo 3	69,388.73	1.15%
RH-37 El Salado	(J)	(J) Cuenca de San Luis Potosí	16	(J)a	(J)a Presa San José 2	181,662.44	3.01%
RH-37 El Salado	(K)	(K) Arroyo El Rayo del Puerto	25	(K)a	(K)a Tula	410,311.91	6.80%
RH-37 El Salado	(L)	(L) Arroyo El Lobo	33	(L)a	(L)a Bustamante	60,811.22	1.01%

Tabla 4.1 Sistema hidrográfico de San Luis Potosí



Mapa 4.3 Subcuencas del estado de San Luis Potosí.

Cada subcuenca del Estado funcionó como una Unidades de Gestión de Riesgos Climáticos (UGAC), que para los efectos del presente estudio, se consideran unidades funcionales, espacialmente heterogéneas, constituidas por racimos de unidades socioambientales elementales, denominadas Unidades de Integración Transescalar (UIT), homogéneas en los atributos ambientales seleccionados, a escala 1:250 000. Las unidades socioambientales elementales son las resultantes del intercambio orgánico entre las comunidades y los ecosistemas, por lo tanto, el atributo de regionalización son los tipos de uso de la tierra a diferentes escalas territoriales. Las áreas dentro de la UGAC relativamente homogéneas en un uso de la tierra se consideran UIT.

5 Escenarios de cambio climático basados en Modelos de Circulación General, para el estado de San Luis Potosí

Se desarrollaron Escenarios de Cambio Climático para el estado de San Luis Potosí, a partir de la “reducción de escala” del ensamble de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) utilizados por el IPCC.AR4, con una resolución horizontal de 54 X 54 Km.

Los GCM fueron desarrollados considerando la opinión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013), los cuales afirman que los modelos numéricos, que representan los procesos físicos de la atmósfera, los océanos, la criosfera y la superficie de la tierra, son las herramientas más avanzadas disponibles en la actualidad para la simulación de la respuesta del sistema climático a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero.

Los GCM representan el clima usando una rejilla tridimensional sobre el mundo, por lo general con una resolución horizontal de entre 250 y 600 Km, de 10 a 20 capas verticales en la atmósfera y, a veces hasta 30 capas en los océanos. Su resolución es por lo tanto bastante gruesa con relación a la escala de las unidades de exposición en la mayoría de las evaluaciones de impacto (IPCC, 2013).

Si bien, se han utilizado modelos más simples para proporcionar estimaciones a nivel regional de la respuesta al cambio climático, los modelos más ampliamente utilizados han sido los GCM, casi siempre en combinación con modelos regionales anidados.

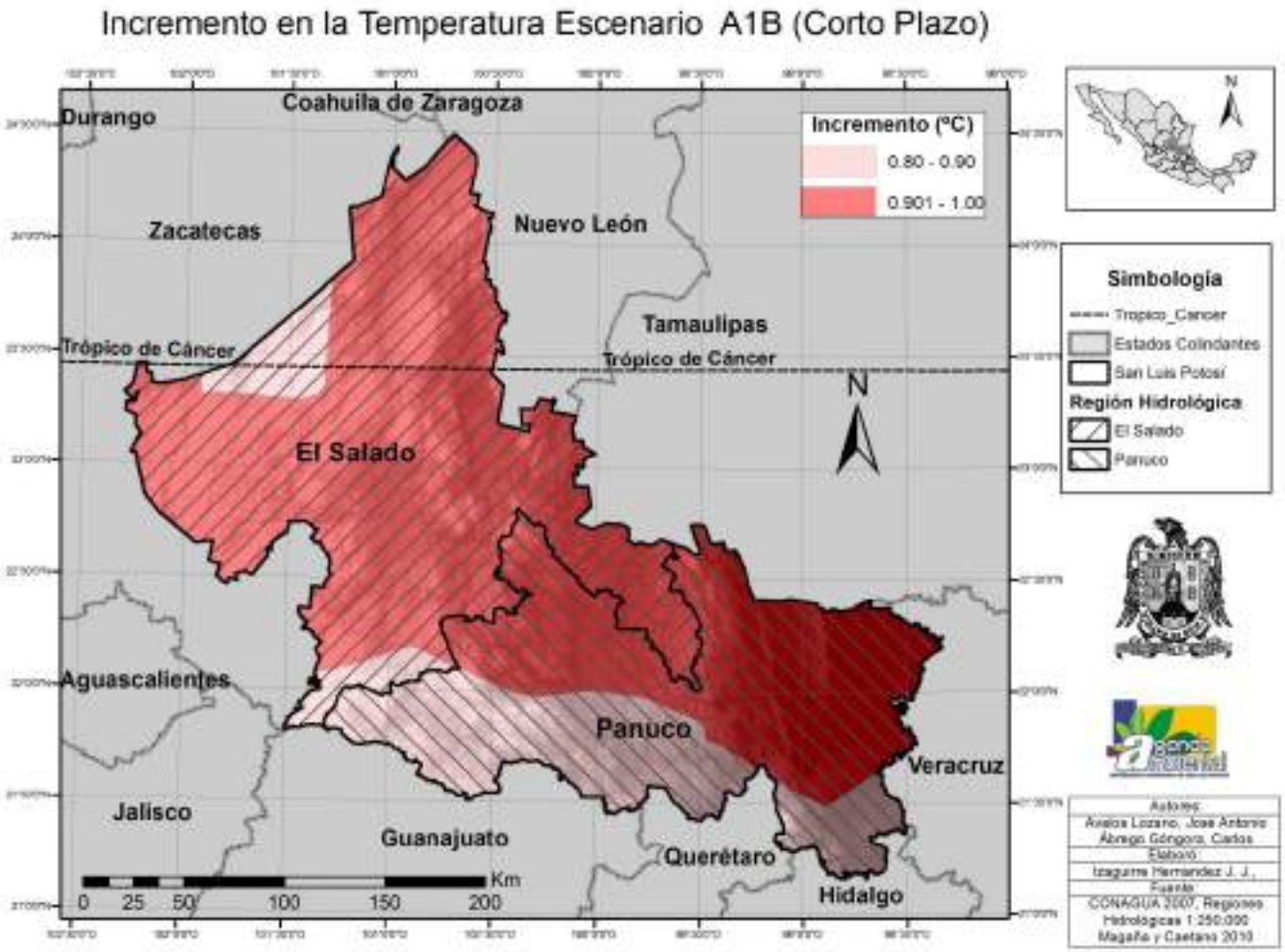
Para resolver su baja resolución se han utilizado técnicas de reducción de escala, que se pensaba podrían tener cierto potencial para proporcionar las estimaciones geográfica y físicamente coherentes del cambio climático regional que se requieren para analizar los impactos en San Luis Potosí (IPCC, 2013).

Para el estado de San Luis Potosí, Magaña y Caetano, (2007) realizaron la reducción de escala del ensamble de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) utilizados por el IPCC.AR4, usando una rejilla tridimensional sobre el estado, con una resolución horizontal de 54 X 54 Km. El proceso se efectuó utilizando la herramienta de predicción del Clima (CPT), que reduce la escala mediante regresión por componentes principales (PCR) y análisis de correlación canónica (CCA). El CPT fue alimentado con las salidas de los GCM y los datos de

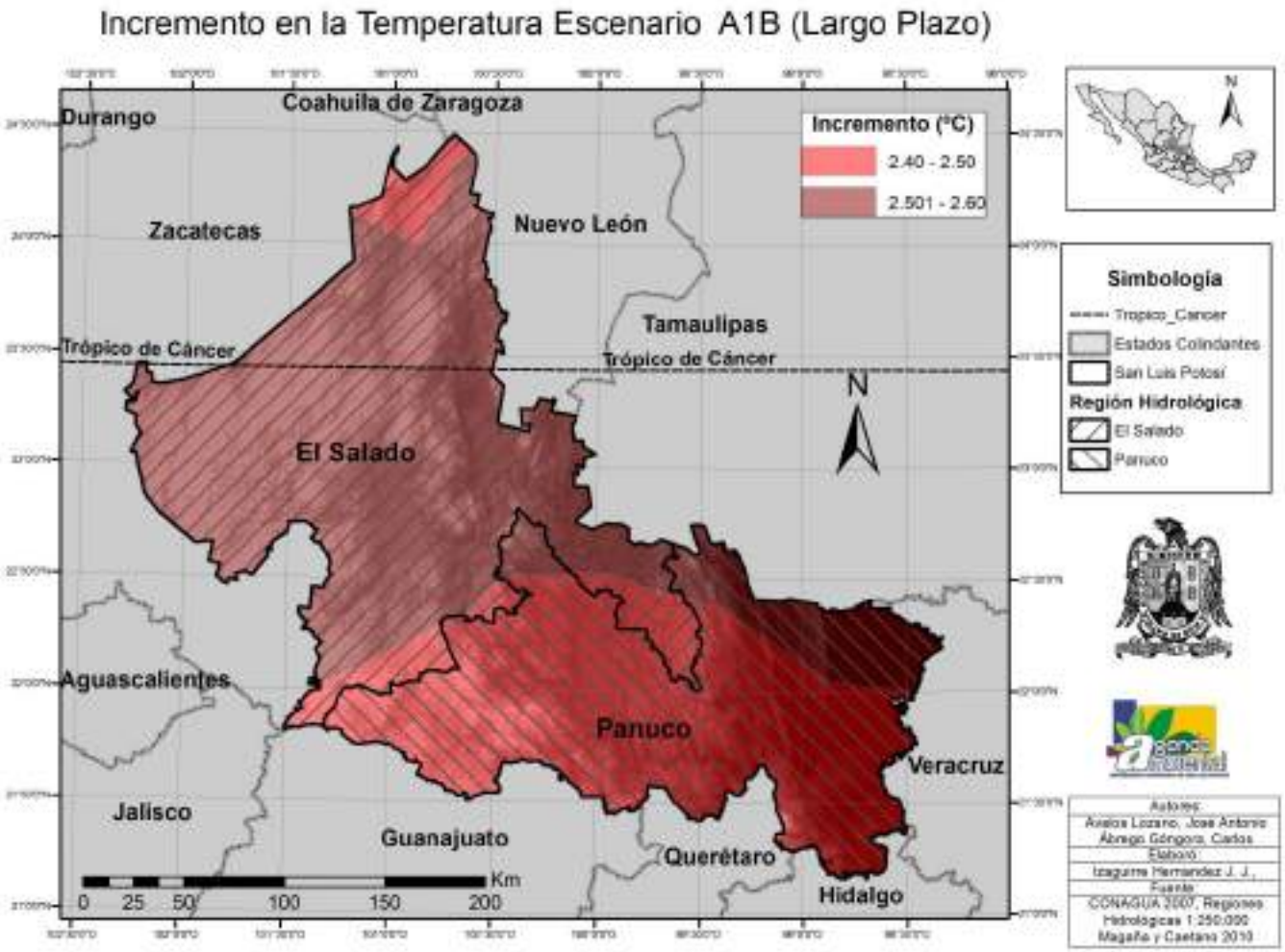
la climatología local (con malla de regular resolución). Los resultados de los ensambles multimodelos para los escenarios: A2, A1B, COMMITED y B1, de corto plazo (2010-2040) y de largo plazo (2070-2100), para temperatura y precipitación, fueron cartografiados, después de ser procesados para suavizar las tendencias, de acuerdo a las curvas de nivel y a los parteaguas de las subcuencas.

En SLP, los escenarios de cambio climático (ECC) de corto plazo (2010-2040) indican aumentos en temperatura de 0,75 a 1,00 ^{o}C; y los de largo plazo (2070-2100), aumentos de 2,75 a 3,0 ^{o}C (A2) y de 1,5 a 1,75 ^{o}C (B2). Para los ECC de precipitación a corto y largo plazo la dispersión y la incertidumbre son mucho mayores que la señal.

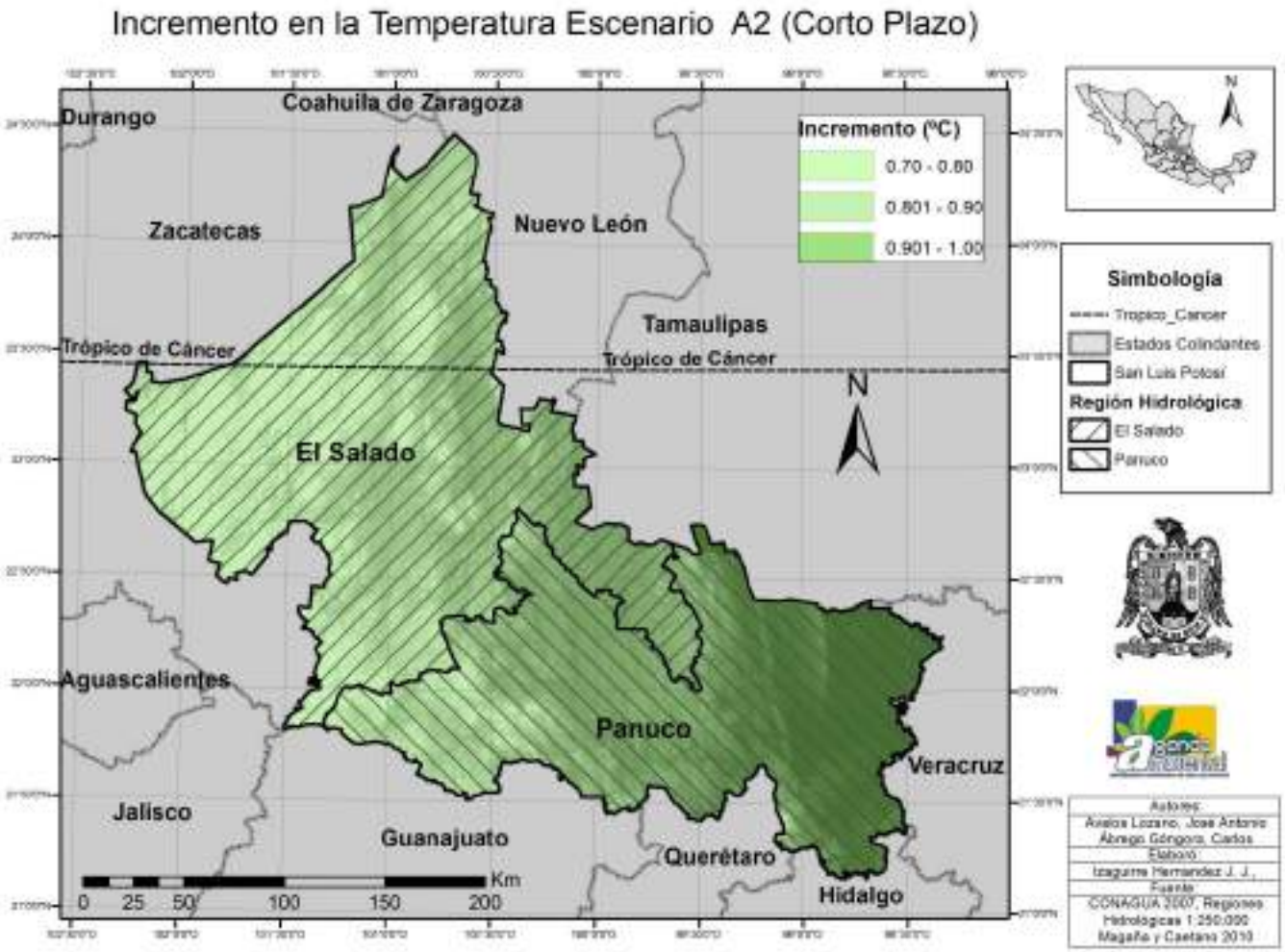
Adelante, en atención al número de mapas, se presentan algunos de los escenarios obtenidos.



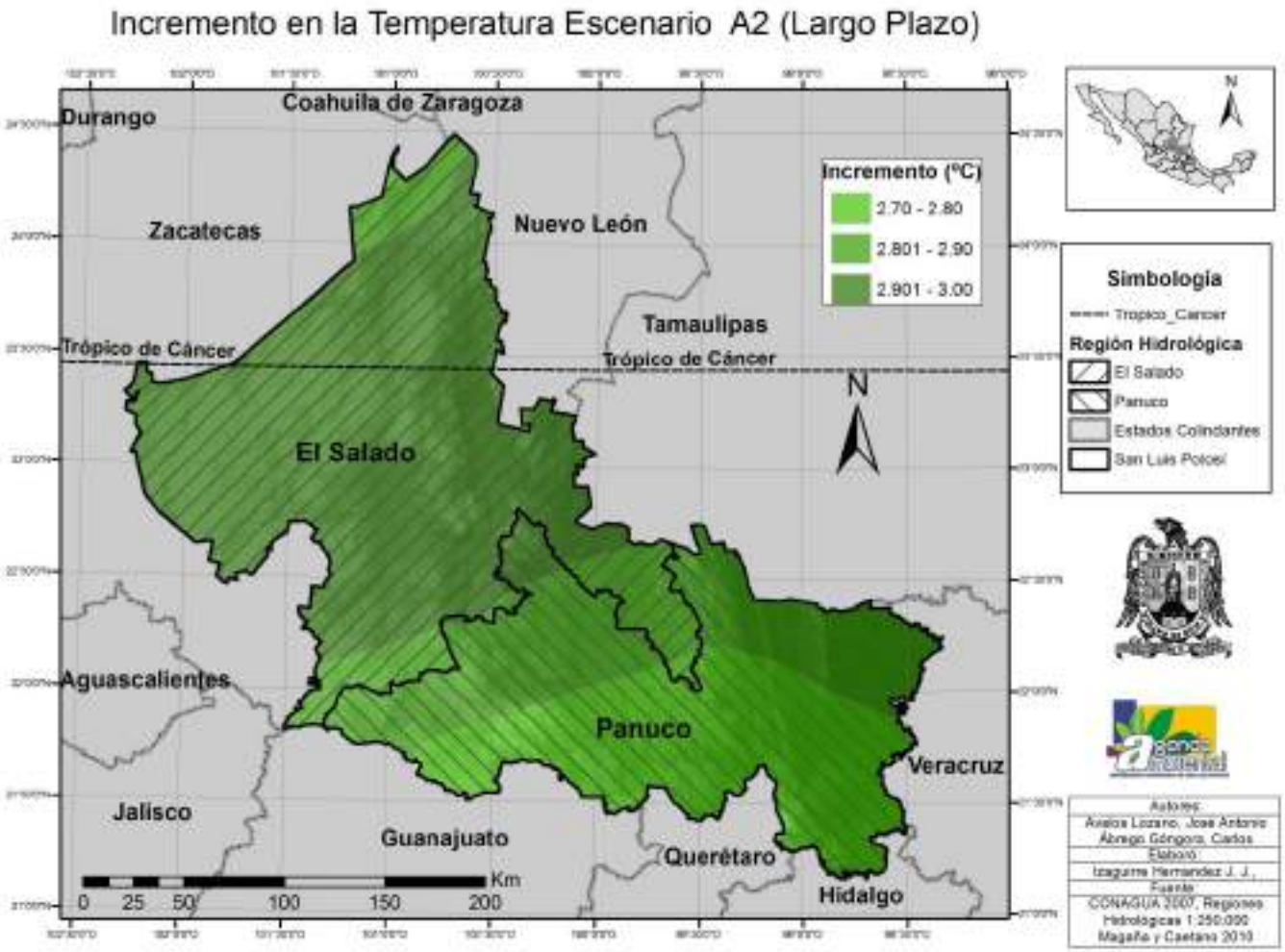
Mapa 5.1 ECC de temperatura A1B de corto plazo



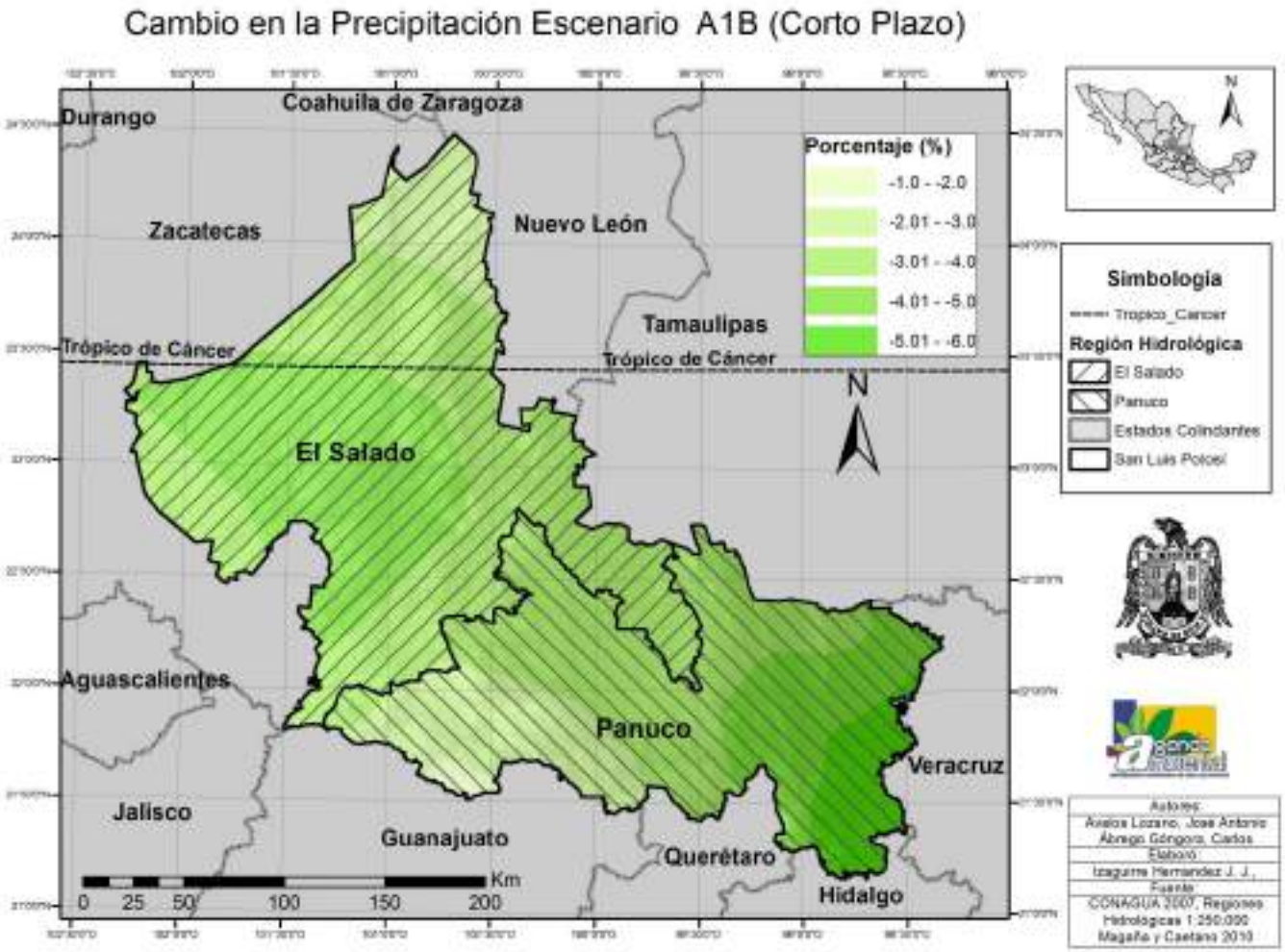
Mapa 5.2 ECC de temperatura A1B de largo plazo



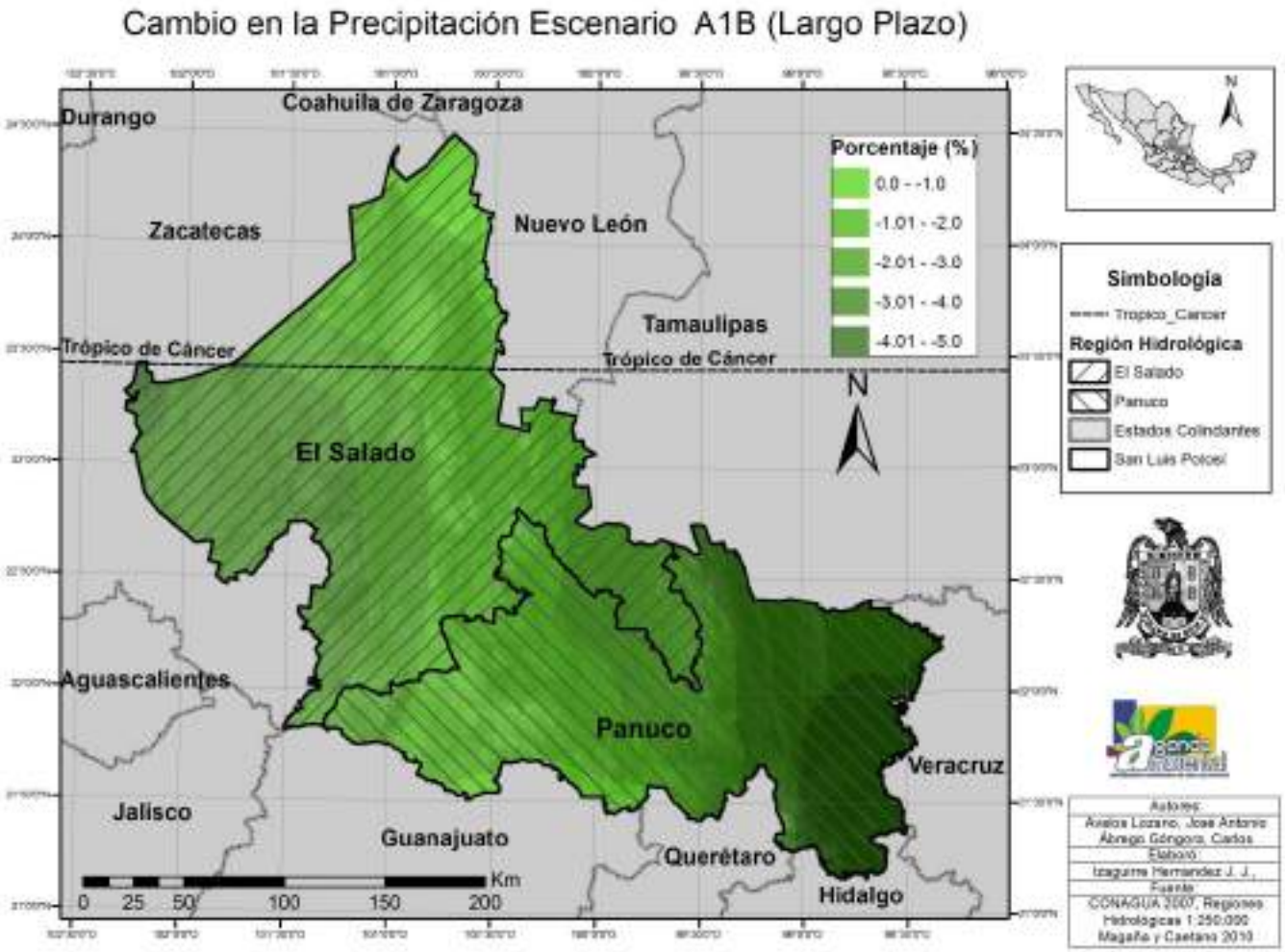
Mapa 5.3 ECC de temperatura A2 de corto plazo



Mapa 5.4 ECC de temperatura A2 de largo plazo



Mapa 5.5 ECC de precipitación A1B de corto plazo



Mapa 5.6 ECC de precipitación A1B de largo plazo

Aunque los resultados coinciden como ensamble con las tendencias históricas registradas, al intentar utilizar los ECC GCM en las evaluaciones de impactos producidos por la variabilidad y el cambio climático, se encontraron algunas dificultades. Los Escenarios de Cambio Climático (ECC) fueron diseñados bajo la premisa que el forzante radiativo dependiente de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 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 GEI 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 criosfera –. Dado que tanto la concentración de GEI 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[1].

Adicionalmente, aunque los ECC son útiles para determinar tendencias regionales de la temperatura, tienen el problema de una alta incertidumbre, provocada 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, 2013). Como se ha podido observar en los ECC de precipitación, 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 GEI. 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 ECC. Además de las emisiones de los GEI, 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 (R. Pielke Sr., *et al*, 2009: 413).

[1] Descripción de un posible estado del mundo, coherente, internamente consistente y plausible (Parry y Carter 1998, citados por Magaña 2010).

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

6 Análisis de alta resolución de la variabilidad climática en San Luis Potosí, desde el año 1900 hasta el 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, 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 promedios de periodos normales (de 30 a 40 años) y un análisis de tendencias, usando series históricas de datos climáticos.

Se determinó el régimen intranual 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 1970-2000 y 1980-2010, para más de 164 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), 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 1980-2010, utilizando los datos de 105 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 105 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 de acuerdo con Purcell et al. (2007), 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 socioambientales.

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 especifica de diferentes sociosistemas 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 ensambles de los escenarios climáticos basados en modelos de circulación general (ECCGCM) para evaluar y validar su aplicabilidad.

Los análisis fueron realizados con dos escalas de resolución diferentes, pero el componente local de alta resolución fue la parte del estudio que se trabajó en forma más detallada, las dos escalas se utilizaron para construir: la línea base macroregional, la

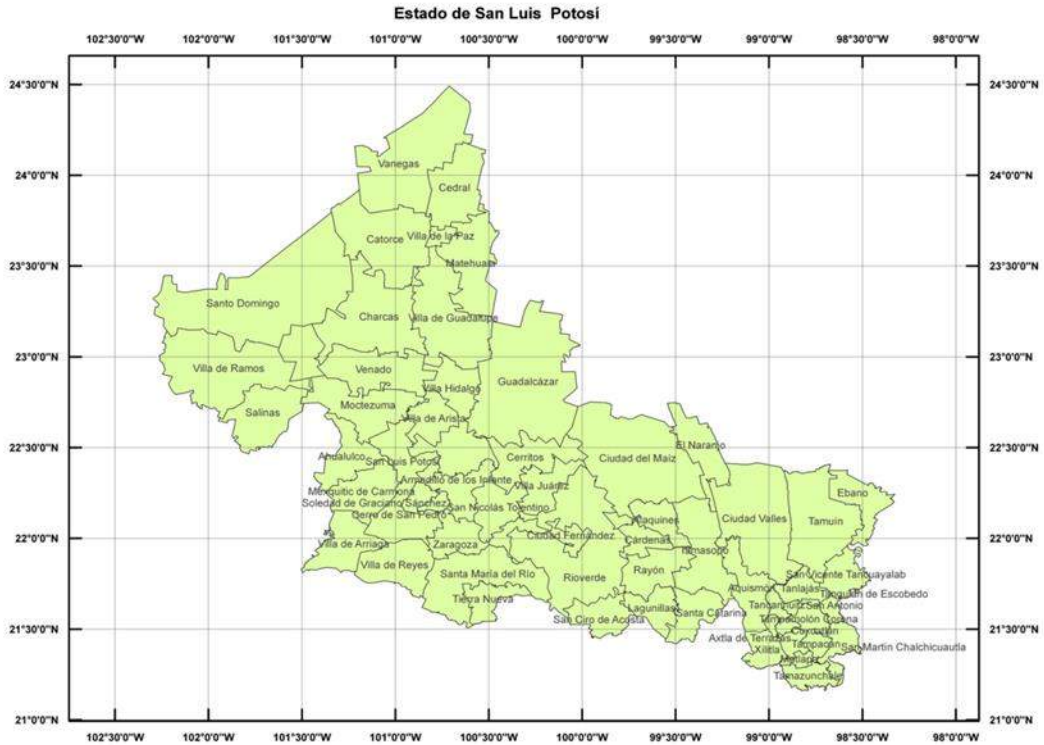
microregional y el estudio de tendencias históricas de las series de tiempo de datos climáticos.

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 6.1.

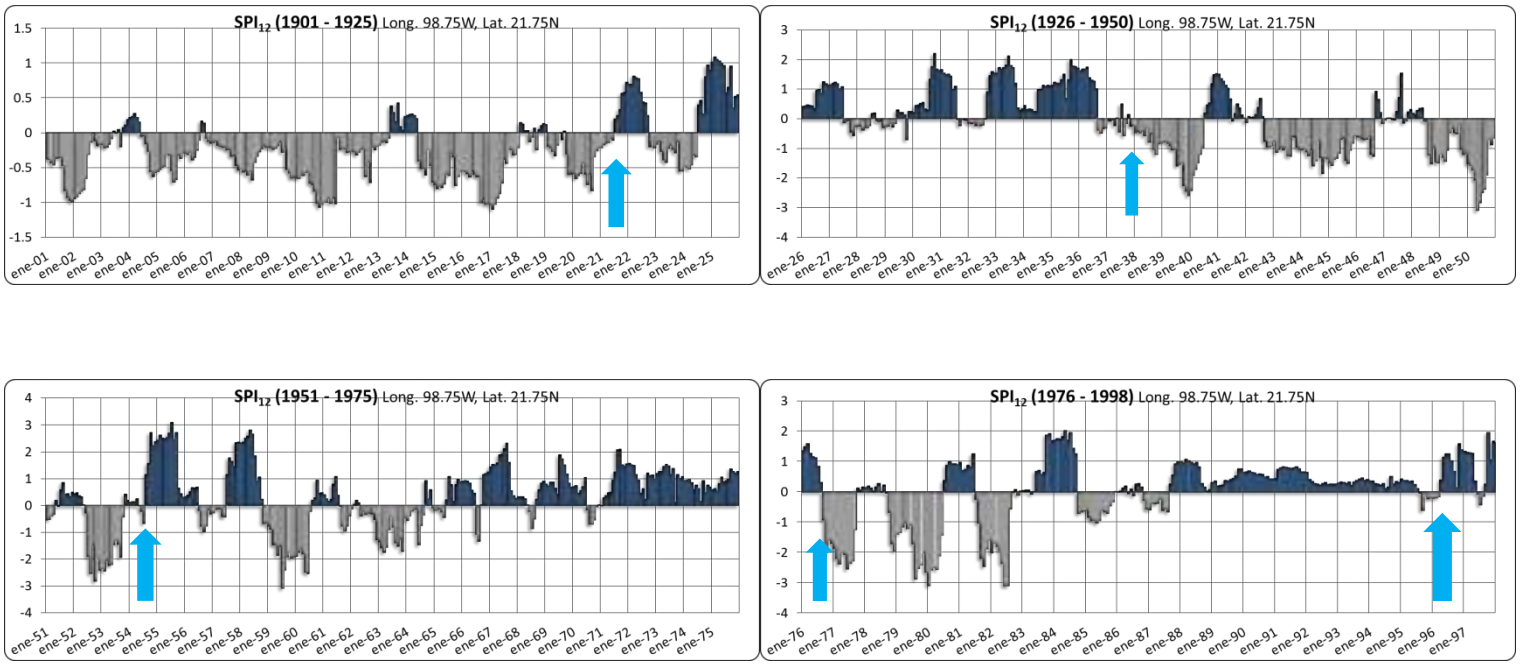
El análisis permitió registrar oscilaciones multidecadales en la precipitación, para todo el estado, que posiblemente tienen gran influencia sobre el clima en las diferentes regiones geomorfológicas del estado, particularmente en las húmedas.

Aunque los ciclos son similares para todo el estado, con periodos de anomalías negativas y positivas de pp en periodos aproximados de 17-22 años, se observó un comportamiento diferente entre la parte oeste y la parte este de San Luis Potosí, divididas por la Sierra Madre Oriental. 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 un proceso no lineal.

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



Mapa 6.1 rejilla de presentación de los datos climáticos para San Luis Potosí 1901-2000, basado en Méndez y Caetano (2007).



Grafica 6.2 serie de tiempo del pixel Tanlajás, 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 167 estaciones localizadas en el estado, para el periodo de 1980-2010. Se determinaron, para cada unidad geomorfológica del estado, las distribuciones de frecuencia de datos y los regímenes intranuales 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 (pp. Tx, Tn) 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.

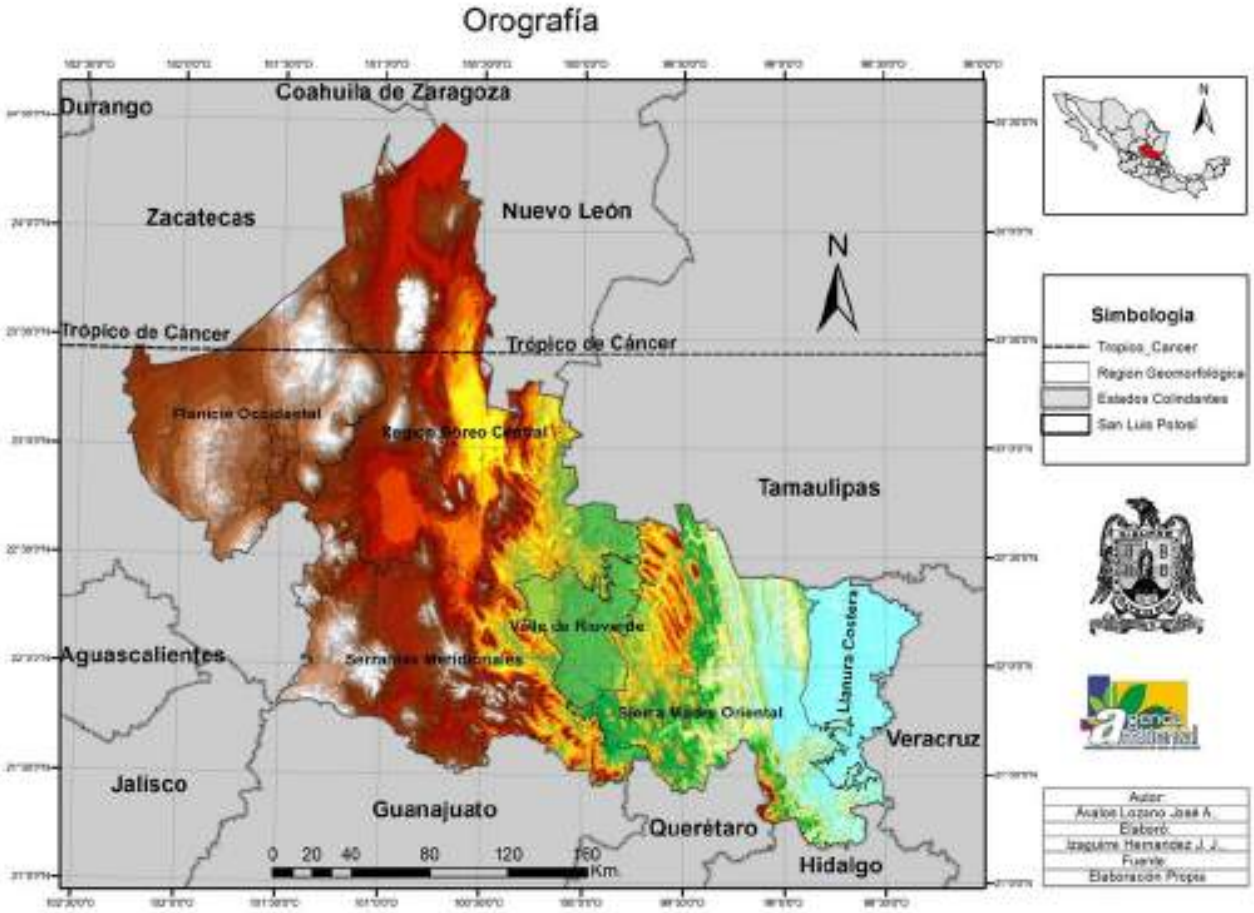
San Luis Potosí presenta climas de características esencialmente monzónicas, con fuertes contrastes entre las regiones lluviosas de la Planicie Costera y Sierra Madre Oriental (que representan el 30% del territorio), y la región árida del Altiplano (70% del territorio), con sus respectivas subdivisiones: Llanura de Rioverde, Serranías Meridionales, Región Bóreo-Central y Planicie Occidental, (Rzedowski, 1966), observar Mapa 6.1.

> "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).

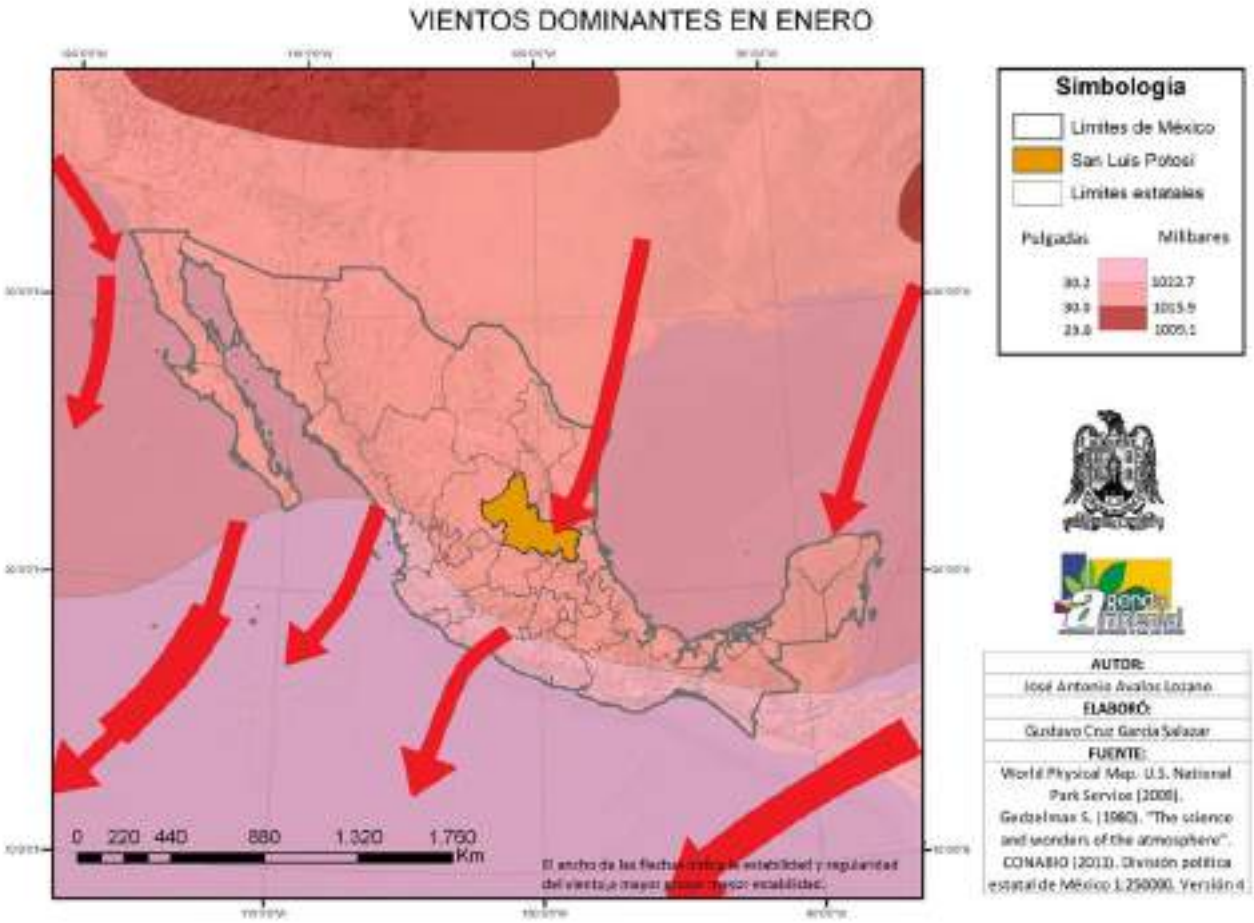
La latitud es el factor que presenta la mayor influencia sobre los tipos de clima, en el caso de San Luis Potosí el Trópico de Cáncer lo atraviesa a los 23º 26' 16'' de latitud norte (en la parte septentrional) y, aunque no constituye una frontera absoluta entre las zonas templada y tropical, la incidencia de este paralelo se asocia a fenómenos climáticos críticos como la isoyeta de 400 mm de precipitación media anual o la isoterma de 0 ^{o}C de temperatura mínima absoluta (límite del bosque tropical perennifolio) (Rzedowski, 1966). Las coordenadas extremas del estado se localizan entre: 21º 11' y 24º 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 30º, 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).

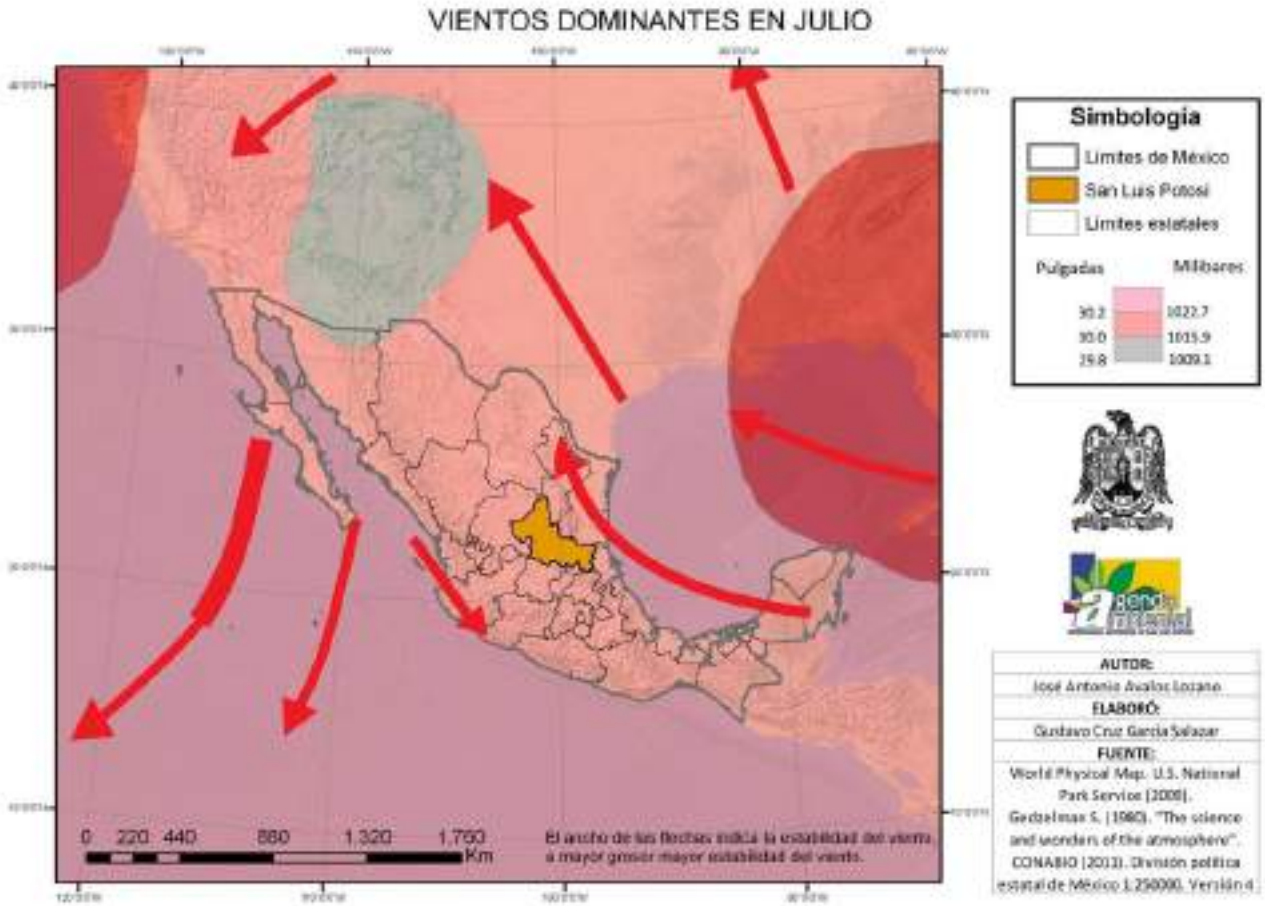
En este caso, otros factores importantes para el clima son la variación altitudinal y la fisiografía, factores esenciales para explicar el patrón de distribución de la precipitación y la temperatura en el estado. San Luis Potosí presenta un patrón geográfico caracterizado por una serie de tres grandes 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 6.1 y los mapas 6.1, 6.2 y 6.3 se representan estas disposiciones.



Mapa 6.2 Regiones Geomorfológicas de San Luis Potosí.



Mapa 6.3 Dirección de vientos dominantes en enero.



Mapa 6.4 Dirección de vientos dominantes en julio.

Figura 6.2 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 (Fig. 3; Fig. 4) (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 6.1.

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 ºC/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 ºC/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 6.3, 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 frio, fenómenos importantes que influyen en la precipitación invernal y en las heladas. Cuando estos frentes se asocian al *El Niño* o *La Niña* o a sequias 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 frio, induciendo corredores con lecturas bajas de temperatura mínima y con vegetación asociada a estas condiciones.

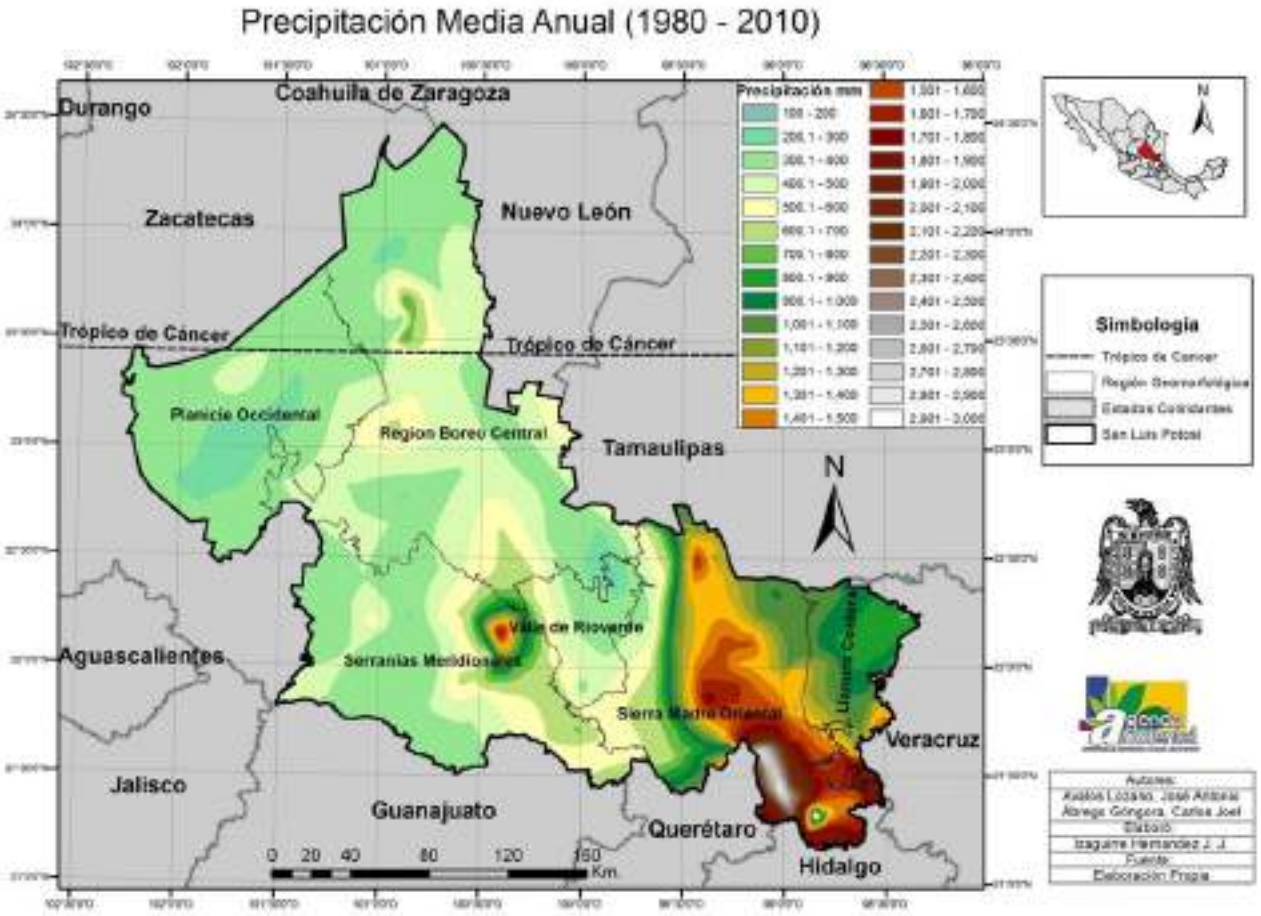
> "[En San Luis Potosí] Son más húmedas las vertientes de barlovento (orientales), de las sierras y las porciones occidentales de las llanuras, que las vertientes del sotavento y las porciones orientales [de las llanuras] respectivamente" (Rzedowski, 1966, pág. 38)

La aseveración se demuestra analizando el Mapa 6.5, 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 el Mapa 6.5.

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.



Mapa 6.5 Precipitación media anual del estado de San Luis Potosí, 1980-2010.

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.

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 Guaname 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 Altiplanicie[1], 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.

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 6.5.

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

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.

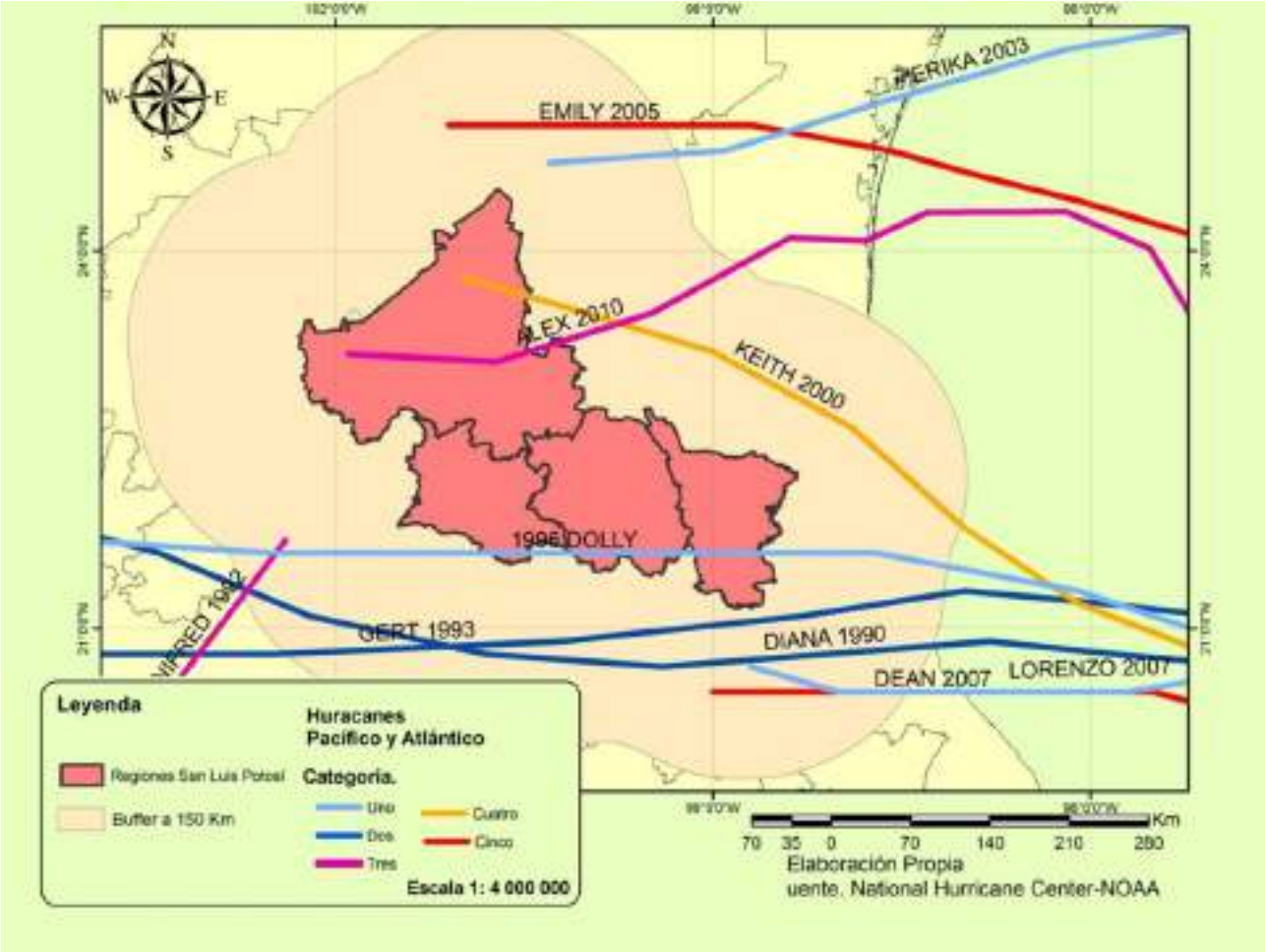
Los ciclones introducen en San Luis Potosí gran cantidad de humedad al oeste de la Sierra Madre Oriental. En la Ciudad de Valles, en el piedemonte de Sierra Madre Oriental, se han presentado, en diferentes ocasiones, fuertes inundaciones fluviales y pluviales, generadas a partir de lluvias intensas, 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) han causado 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

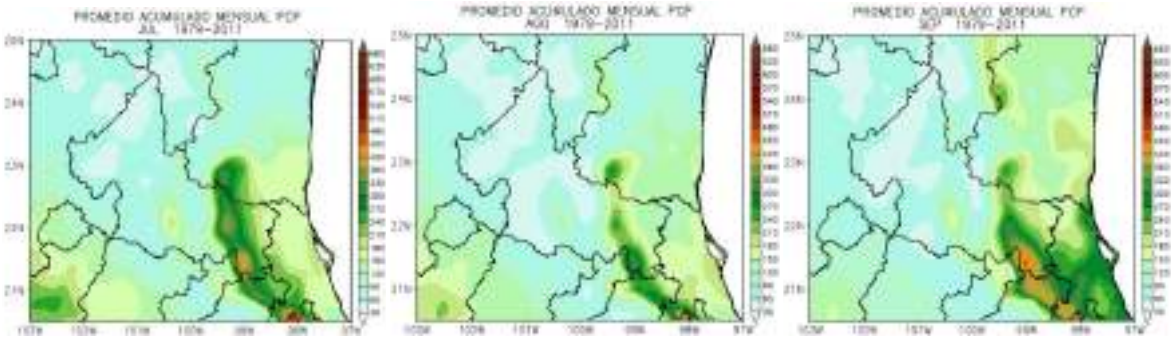
Tabla 6.2. Fuente: Elaboración propia a partir de información del SMN, BANDAS y ERIC.

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.



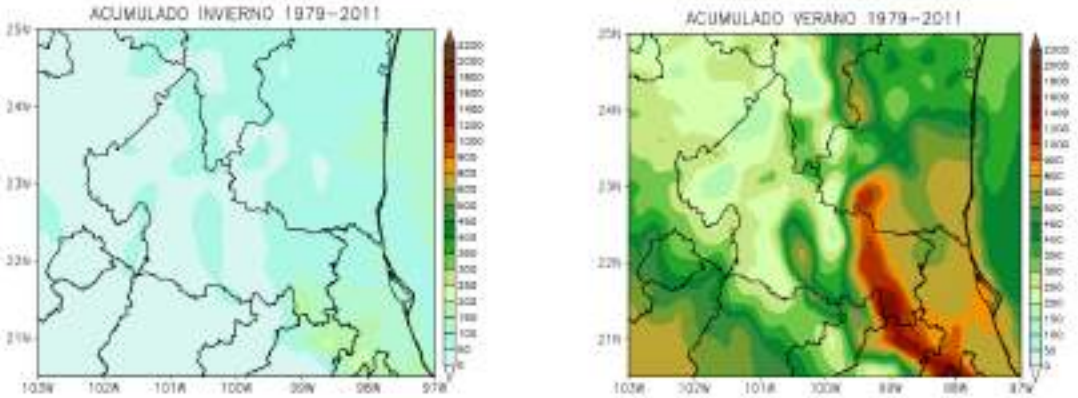
Mapa 6.6 Trayectorias de huracanes que han afectado el territorio del estado de San Luis Potosí, 1990-2010.

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.



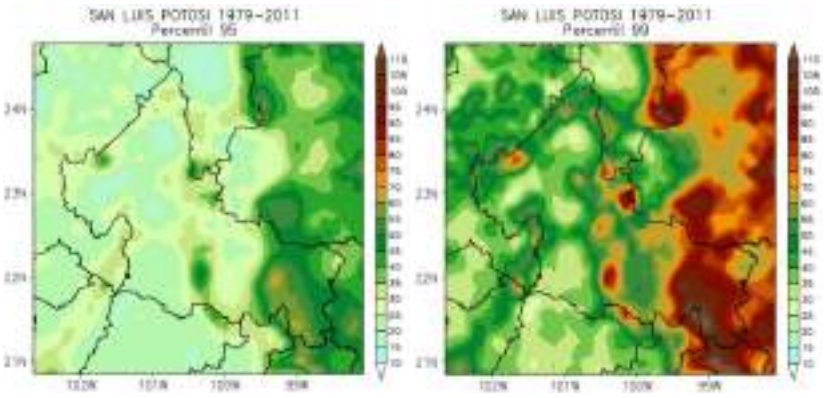
Mapa 6.7 Precipitación acumulada mensual (mm) en los meses de julio, agosto y septiembre en San Luis Potosí.

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 6.8 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 6.9 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 pp uno en julio o junio y uno en septiembre, pero el periodo de disminución en la pp 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 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; 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 1980-2010. 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 6.10, Fig. 6.4, 6.5, 6.6) 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 1980-2010 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 6.11; Fig. 6.7, 6.8, 6.9, 6.10). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 75 a 90%. En las cuatro localidades analizadas en el periodo 1980-2010 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 6.12; Fig. 6.11, 6.12, 6.13). 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 6.13; Fig. 6.14, 6.15, 6.16, 6.17). 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 1980-2010, 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 6.14; Fig. 6.18, 6.19, 6.20). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 75 a 91%. En la estación 24144 para el periodo 1980-2010, 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.

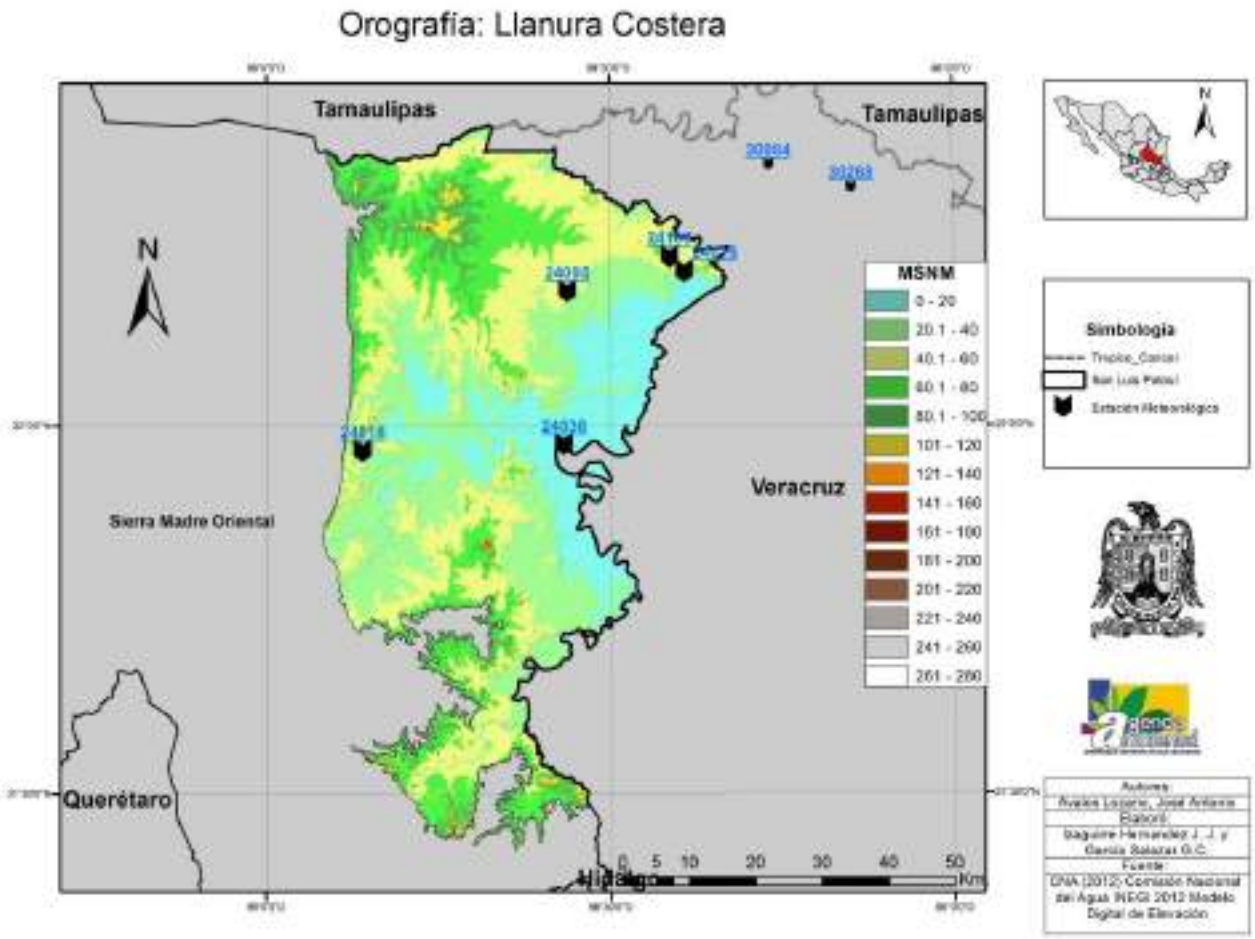
La última región analizada es La Planicie Occidental, en ésta fueron seleccionadas las estaciones: 24010 “Charcas”, la 24152 “Sauz de la Calera”, la 24191 “San Antonio del Mezquite” (Mapa 6.15; Fig. 6.21, 6.22, 6.23). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 75 a 86%. En la estación 24144 para el periodo 1980-2010, 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 1980-2010, 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.

Planicie Costera Nor-Oriental



Mapa 6.10 Estaciones meteorológicas situadas en la Planicie Costera Nor-Oriental

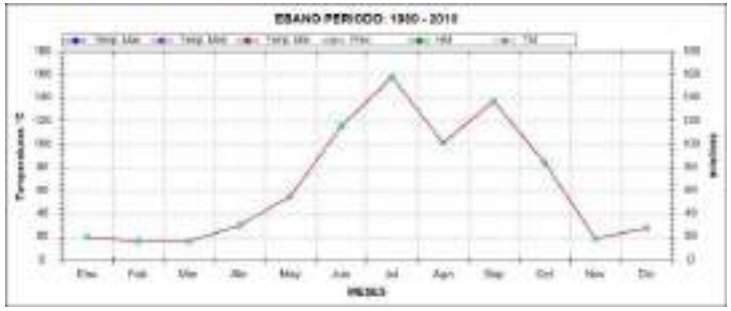


Figura 6.4 Régimen intranual de precipitación 24108 El Tulillo.

Figura 6.5 Régimen intranual de precipitación 24018 El Choy.

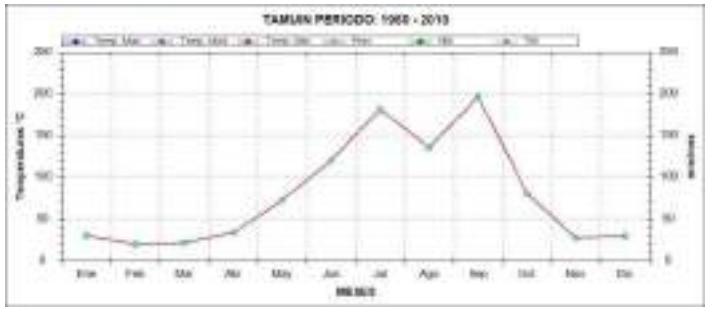
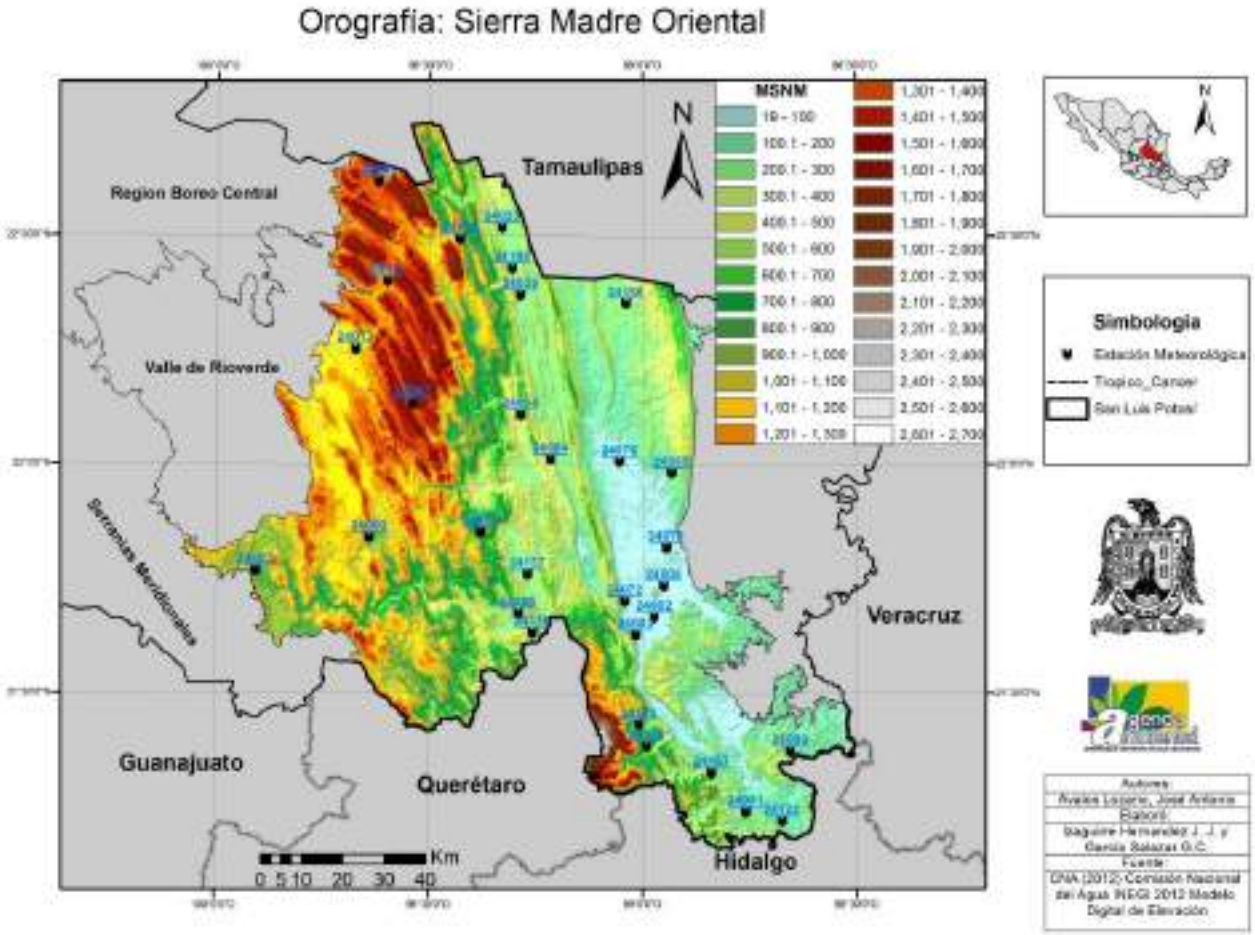


Figura 6.6 Régimen intranual de precipitación 24036 Las Adjuntas.



Mapa 6.11 Estaciones meteorológicas situadas en la Sierra Madre Oriental

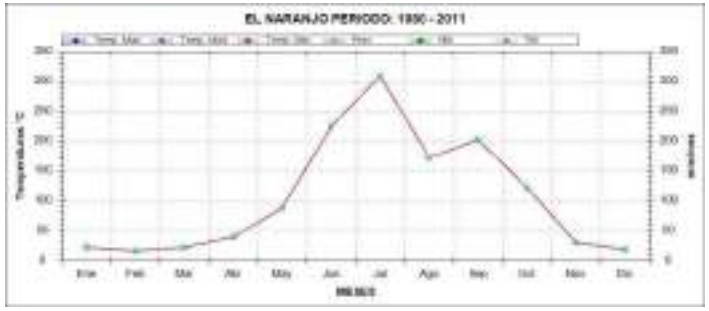


Figura 6.7 Régimen intranual de precipitación 24039 Maitinez.

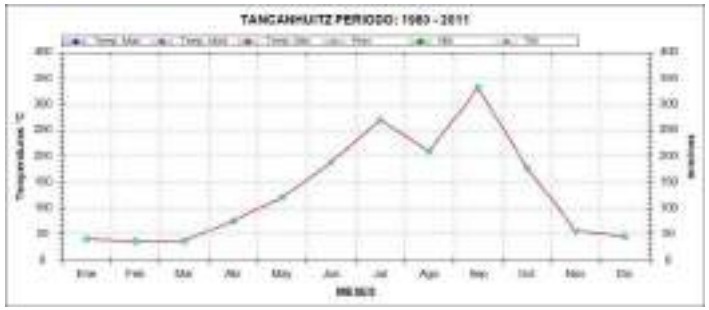


Figura 6.8 Régimen intranual de precipitación 24002 Altamira.

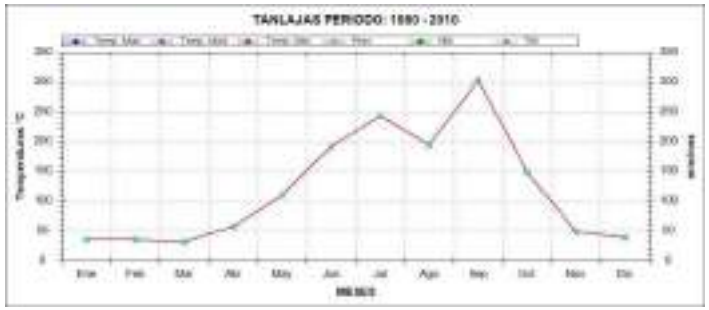


Figura 6.9 Régimen intranual de precipitación 24005 Ballesmi.

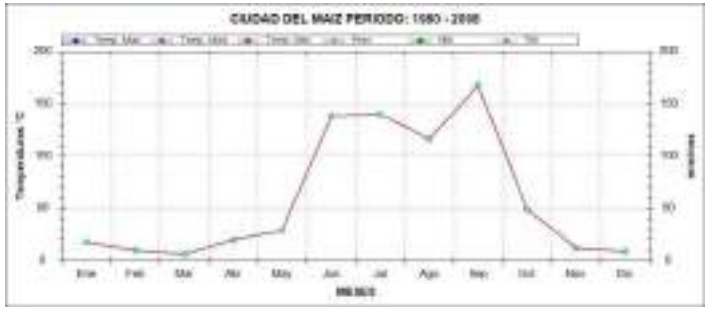
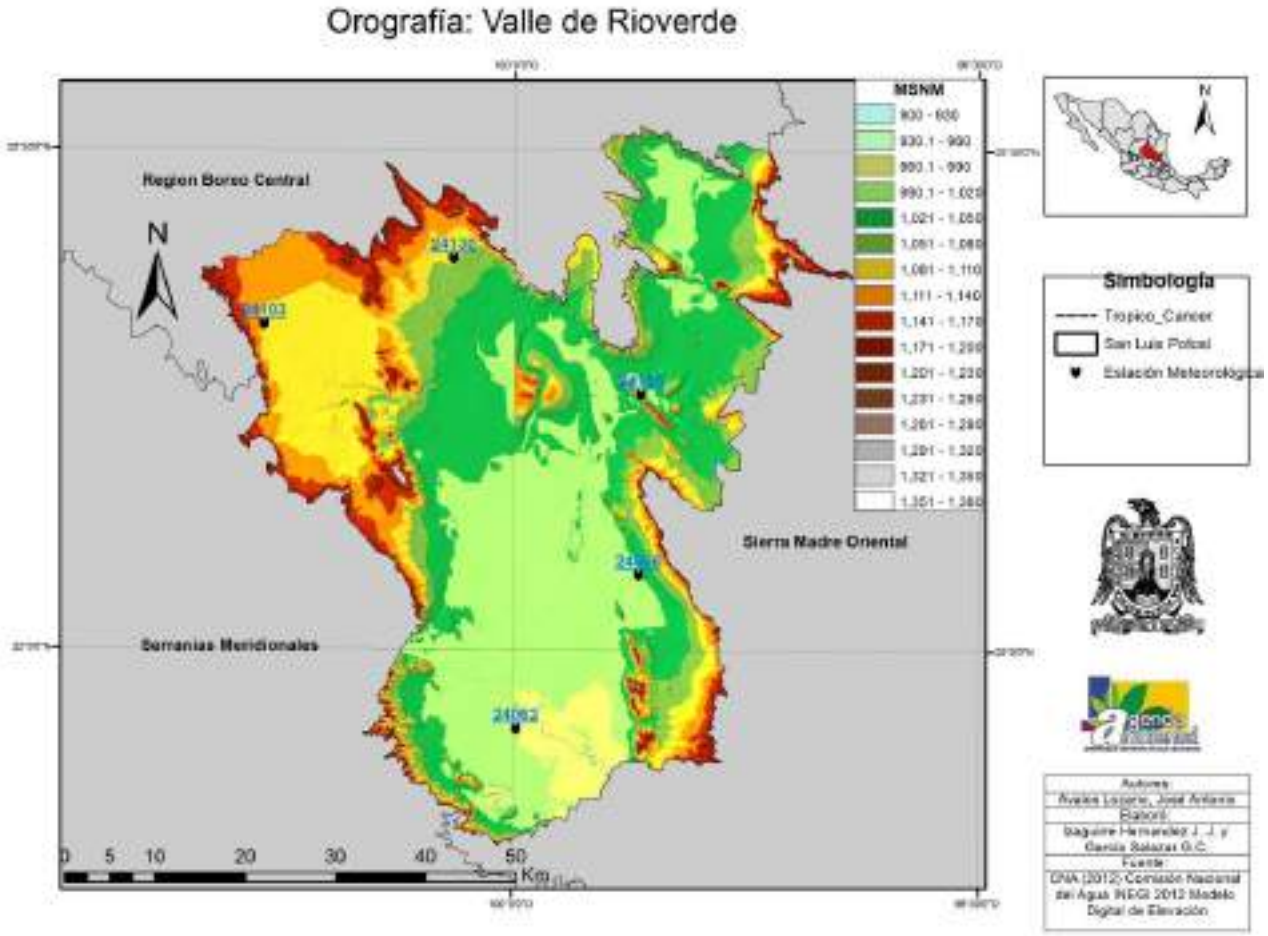


Figura 6.10 Régimen intranual de precipitación 24068 San Juan del Meco.



Mapa 6.12 Estaciones meteorológicas situadas en la Llanura de Rioverde.

Figura 6.11 Régimen intranual de precipitación 24130 Granjenal.

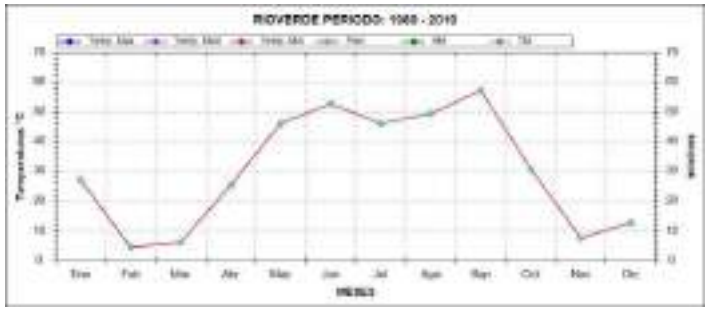
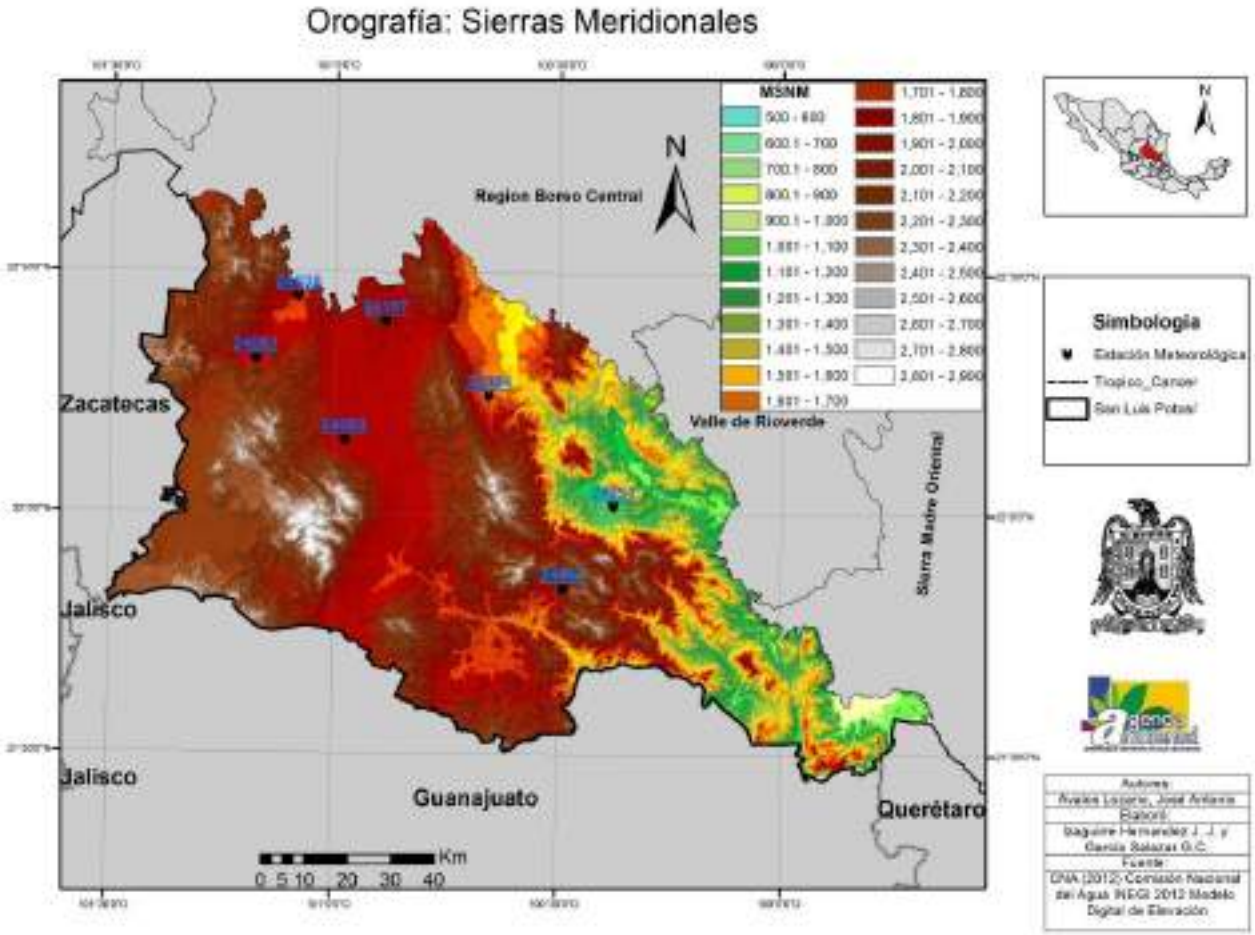


Figura 6.12 Régimen intranual de precipitación 24062 Rioverde.

Figura 6.13 Régimen intranual de precipitación 24195 Las Tablas.



Mapa 6.13 Estaciones meteorológicas situadas en Sierras Meridionales.

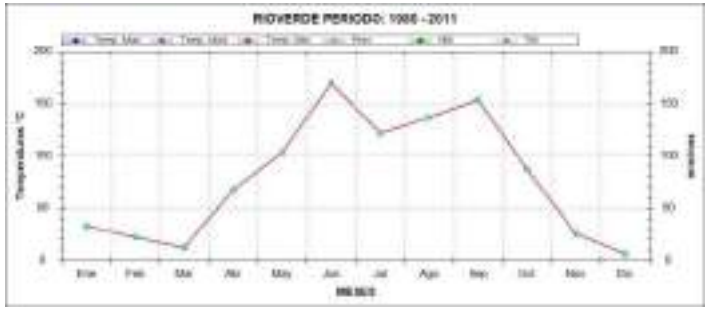


Figura 6.14 Régimen intranual de precipitación 24051 Paso de San Antonio.

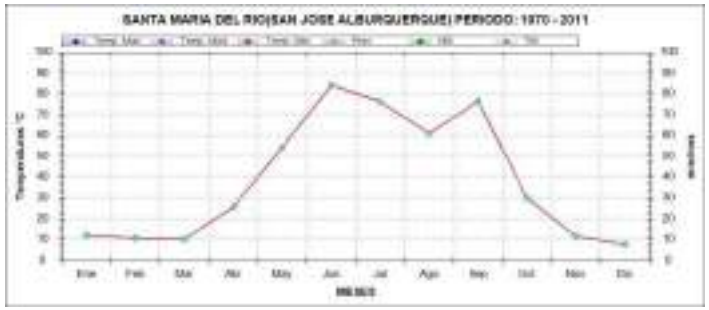
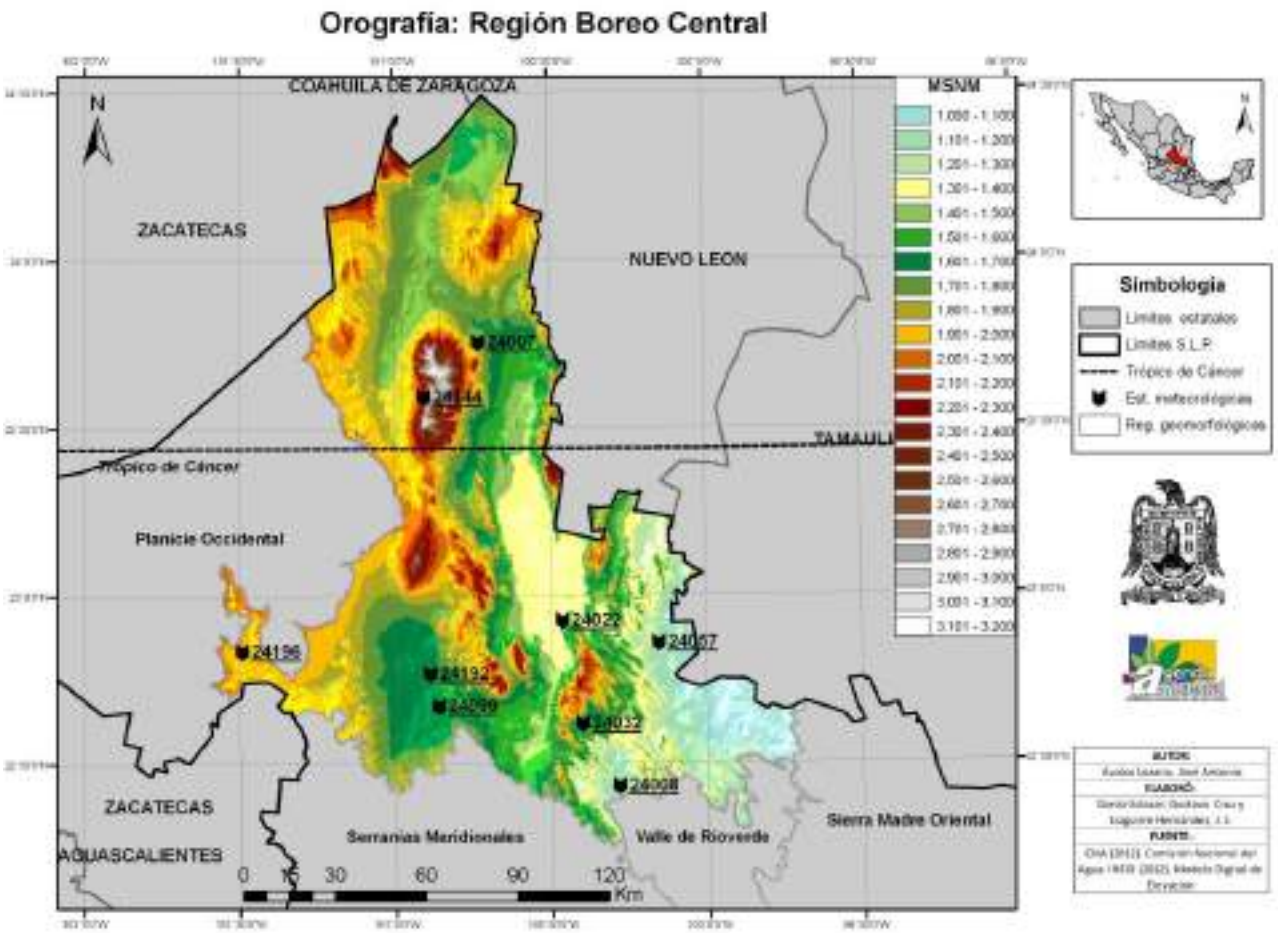


Figura 6.15 Régimen intranual de precipitación 24067 San José Alburquerque.

Figura 6.16 Régimen intranual de precipitación 24069 San Luis Potosí.

Figura 6.17 Régimen intranual de precipitación 24061 Rincón del Porvenir.



Mapa 6.14 Estaciones meteorológicas situadas en Región Bóreo Central.

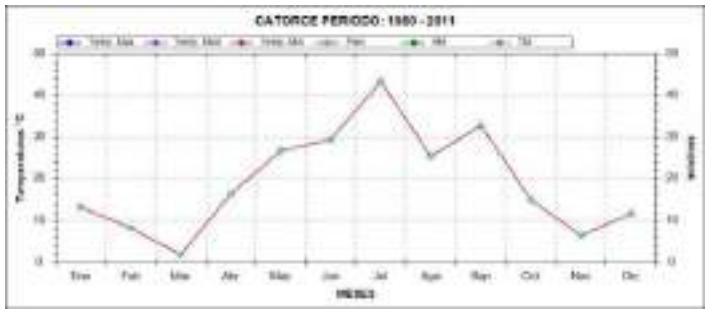


Figura 6.18 Régimen intranual de precipitación 24144 La Cardoncita.

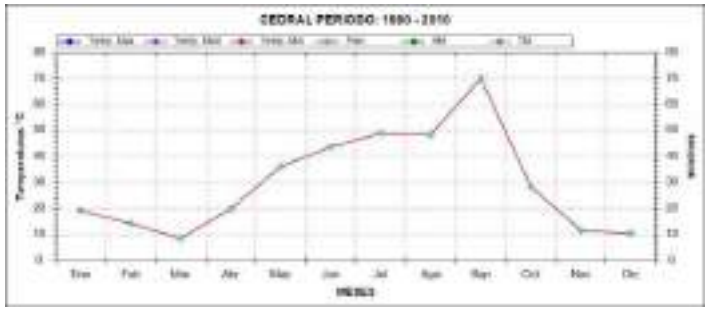
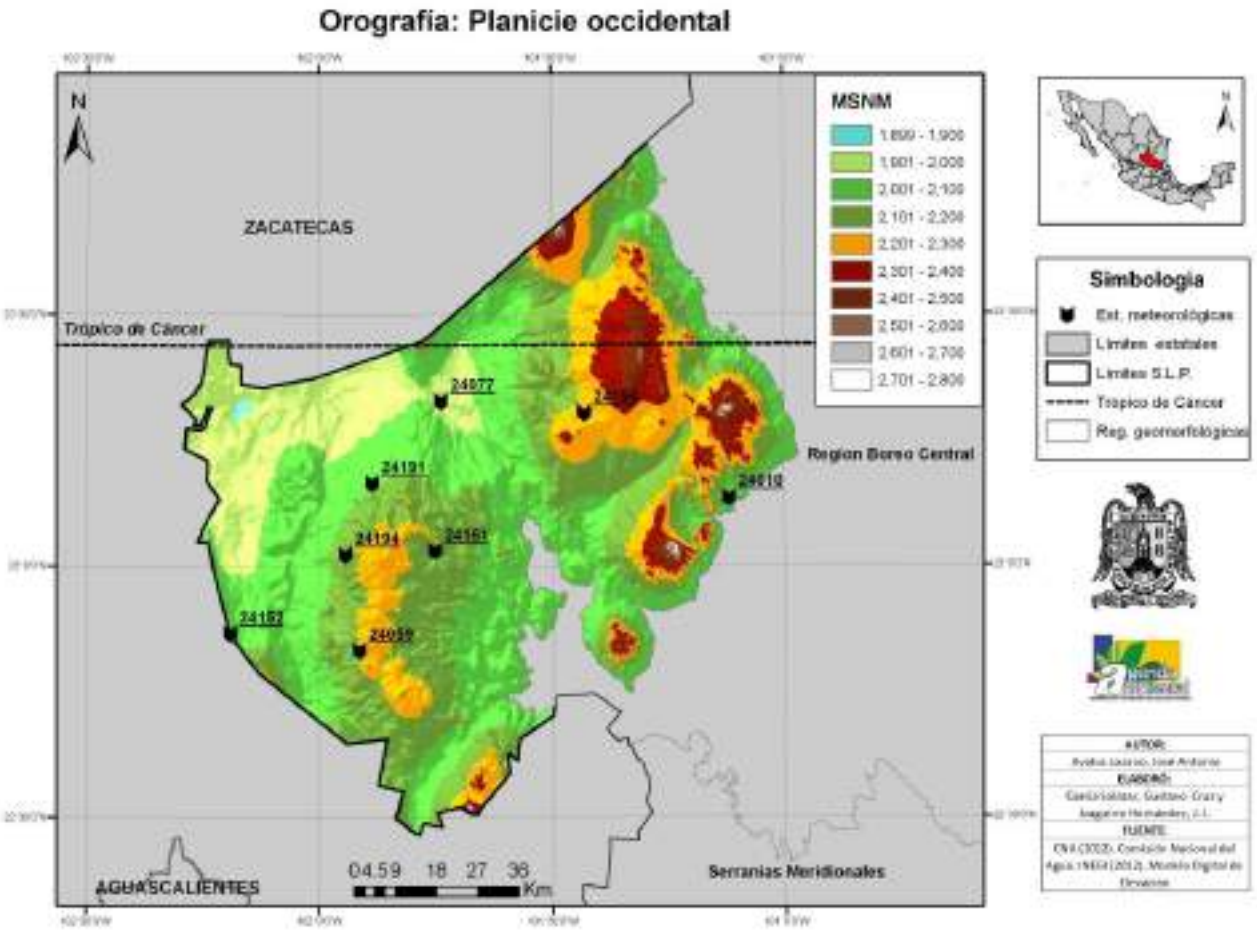


Figura 6.19 Régimen intranual de precipitación 24007 Normal del Desierto.

Figura 6.20 Régimen intranual de precipitación 24057 Presa de Guadalupe.



Mapa 6.15 Estaciones meteorológicas situadas en Región Planicie Occidental.

Figura 6.21 Régimen intranual de precipitación 24010 Charcas.

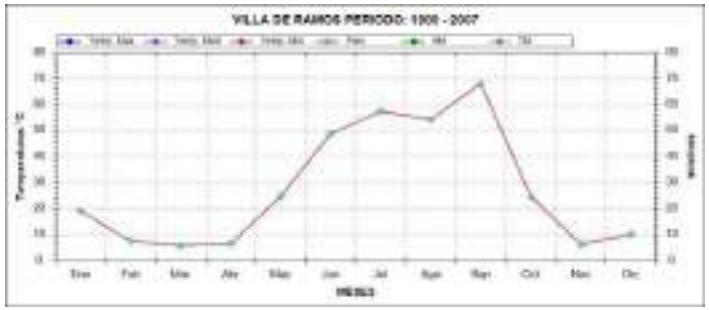


Figura 6.22 Régimen intranual de precipitación 24152 Sauz de la Calera.

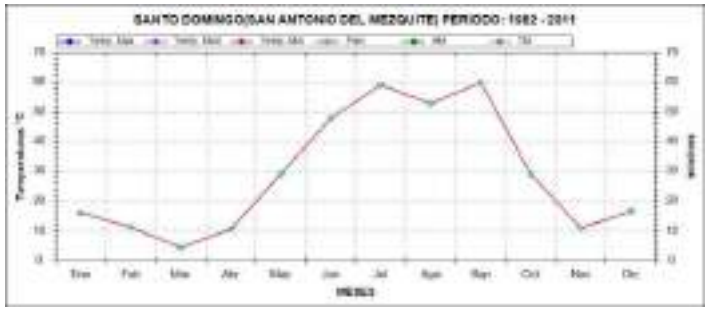


Figura 6.23 Régimen intranual de precipitación 24191 San Antonio del Mezquite.

La variabilidad interanual en la precipitación es de gran importancia desde el punto de vista ecológico y agrícola, grandes variaciones implican años con inundaciones, otros con cultivos abundantes y otros con hambre, todos en el mismo lugar. 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 $Va = \sum \in t \div n$

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

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 Vr 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

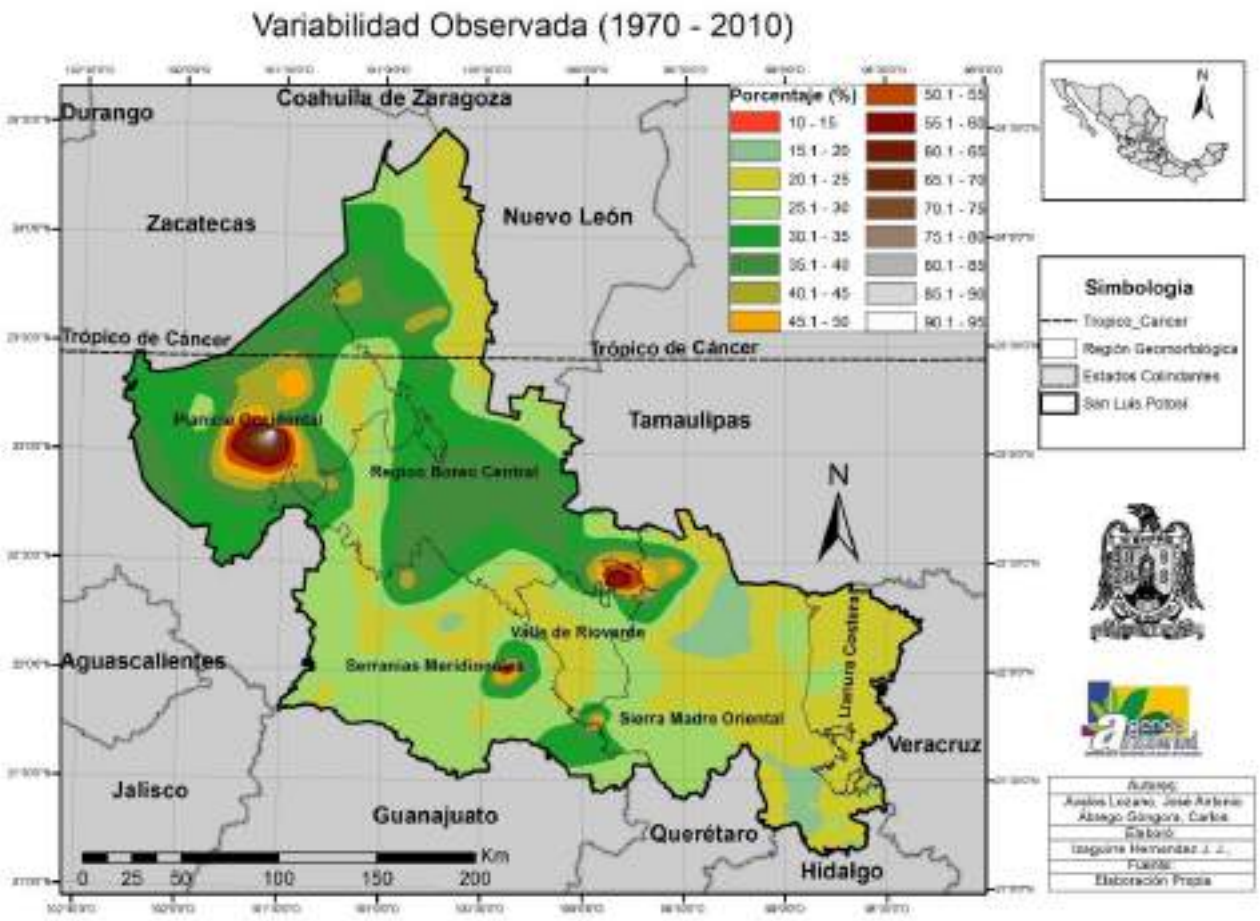
también es alta para este tipo de ambientes), estos resultados podrían estar asociados con las oscilaciones multidecadales observadas.

iii.- Las anomalías incrementan del oriente al poniente, claramente asociadas a la aridez. La importancia de esta relación no debe ser subestimada, en la zonas de mayor aridez no sólo llueve menos la variabilidad en la pp 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.

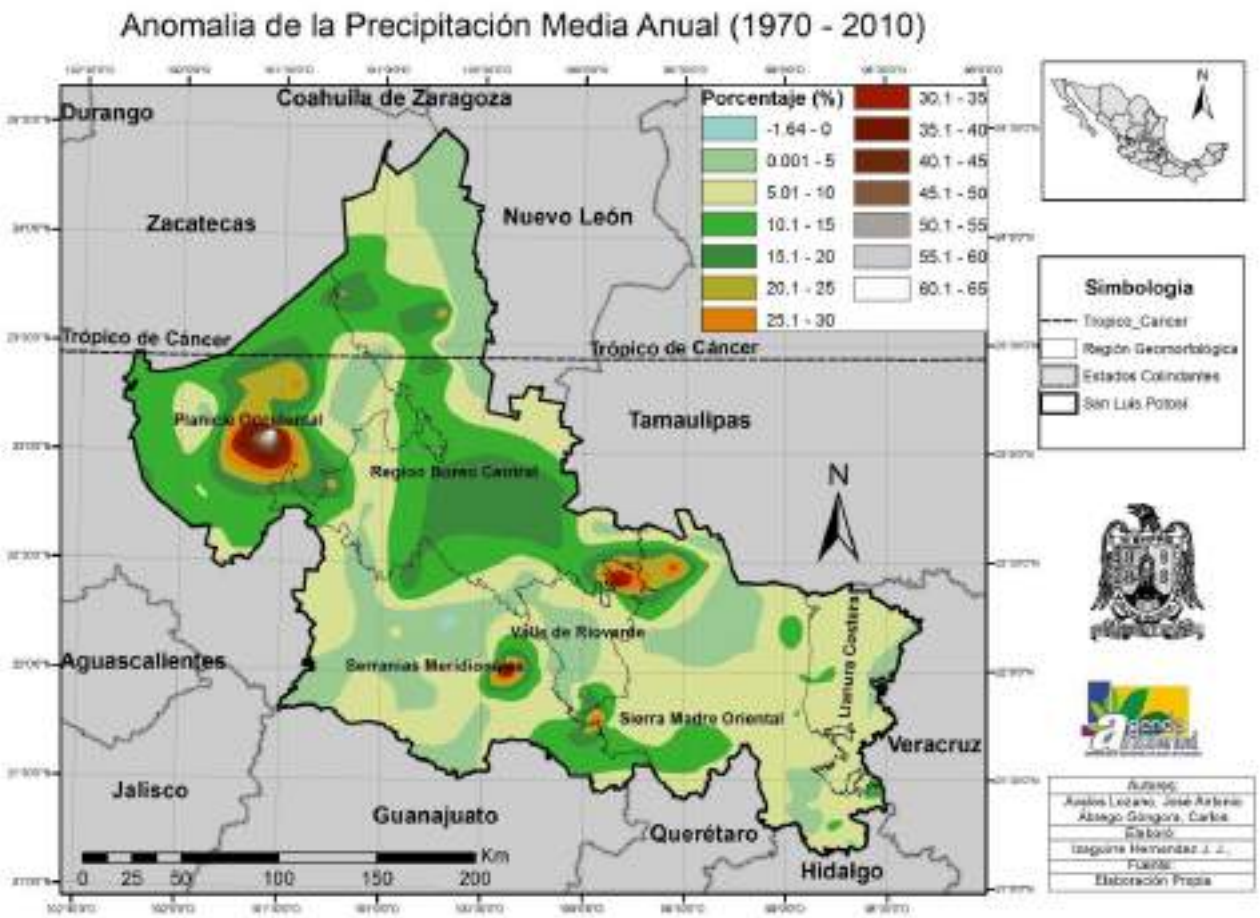
De hecho, uno de los valores de variabilidad relativa y dos de las anomalías, calculados en el estado de San Luis Potosí, son mayores que los citados por Conrad como la variabilidad y la anomalía más extremas de la tierra, registrados en Isla Malden (Vr 71%; anomalía +53%). En la estación 24019 “El Estribo” 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.

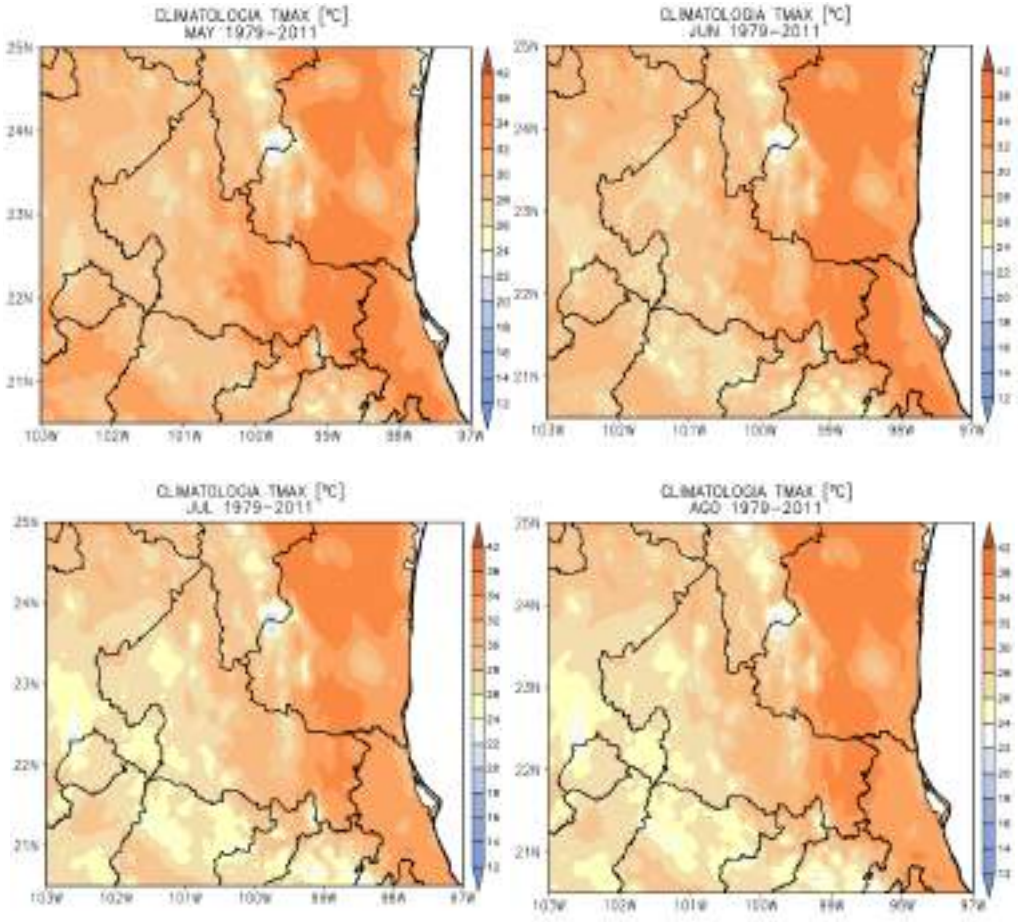


Mapa 6.16 Variabilidad de la precipitación (1970-2010)



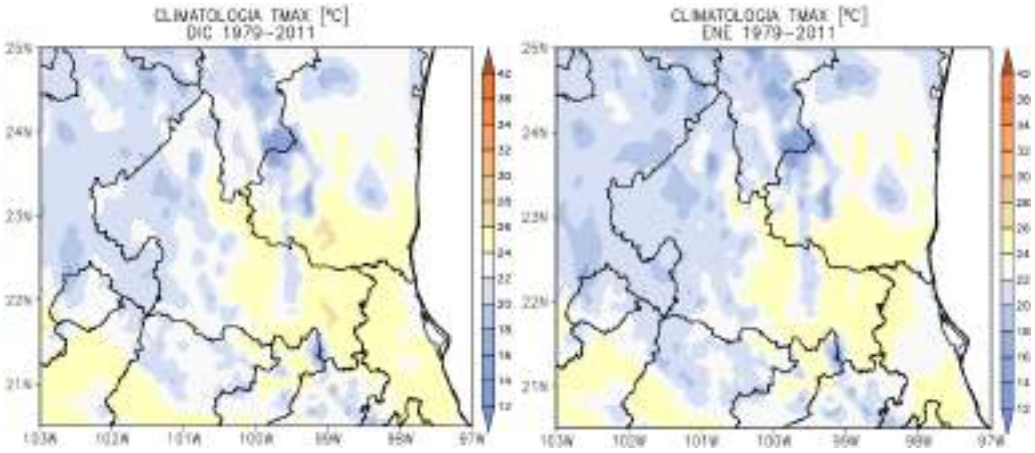
Mapa 6.17 Anomalía entre la Vr observada y la Vr calculada con la fórmula de Conrad 1941 (1970-2010)

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 6.18) 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.



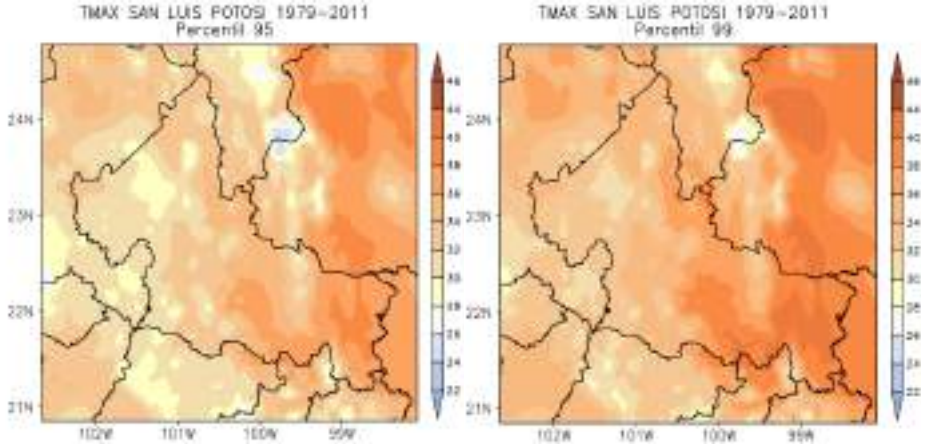
Mapa 6.18 Valores medios de temperatura máxima primavera-verano (°C), 1979-2011.

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



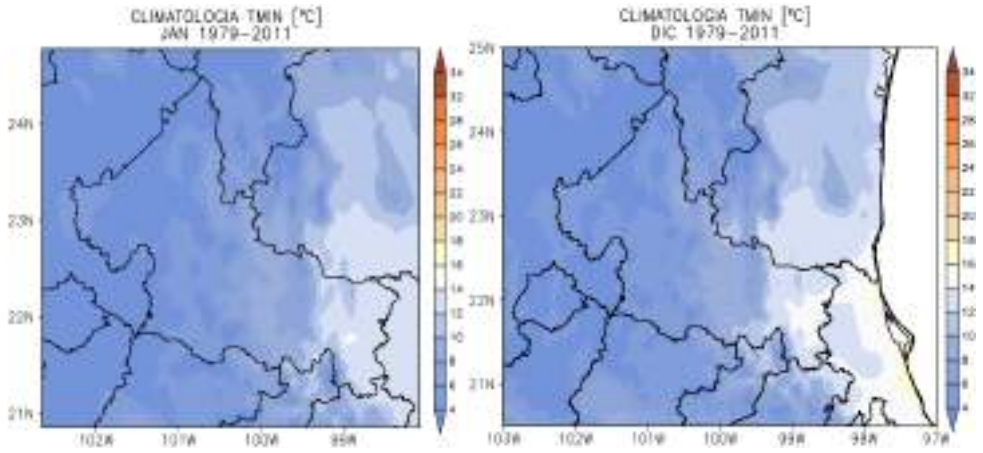
Mapa 6.19 Valores medios de temperatura máxima otoño-invierno (°C), 1979-2011.

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 6.20). 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.



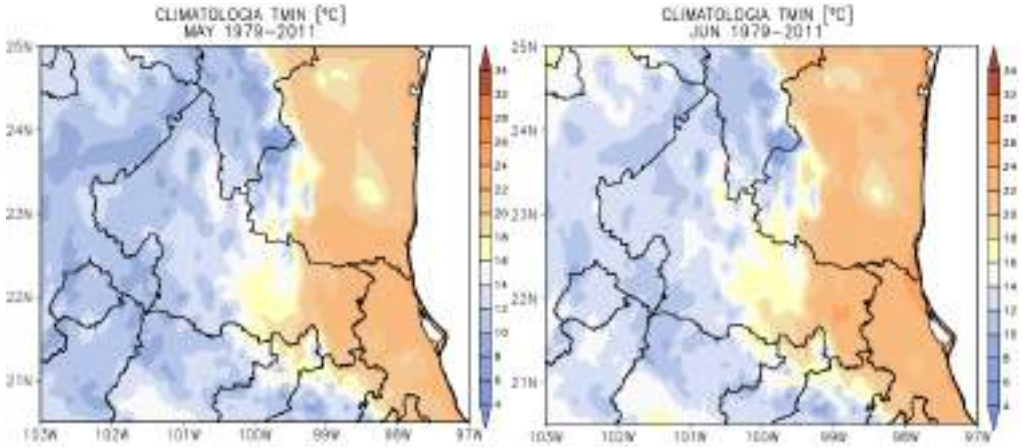
Mapa 6.20 Percentiles 95% y 99% de la temperatura máxima (°C) en SLP, 1979-2011.

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



Mapa 6.21 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 6.22 Valores promedio de temperatura mínima (°C) en SLP en primavera, 1979-2011.

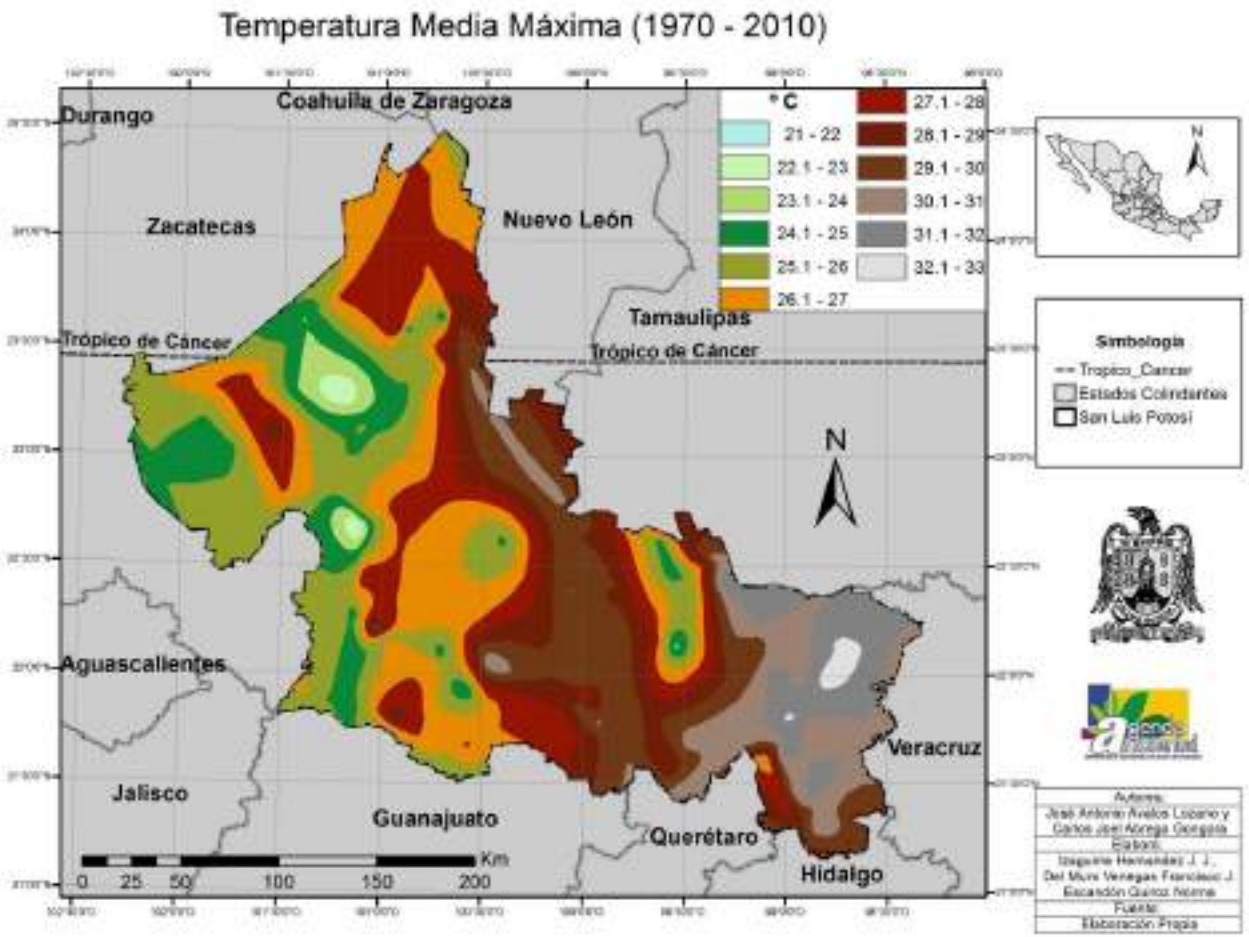
En la parte oeste del estado, las temperaturas mínimas extremas pueden estar por debajo de los 0°C (percentil 5%), principalmente hacia las partes altas. En el caso de la región Huasteca, su alta humedad genera temperaturas mínimas que en promedio son altas y que por lo tanto mantienen las mínimas en 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 ^{o}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 ^{o}C (21.59 ^{o}C es la menor temperatura máxima promedio registrada en la estación 24021 “El Grito”, en el

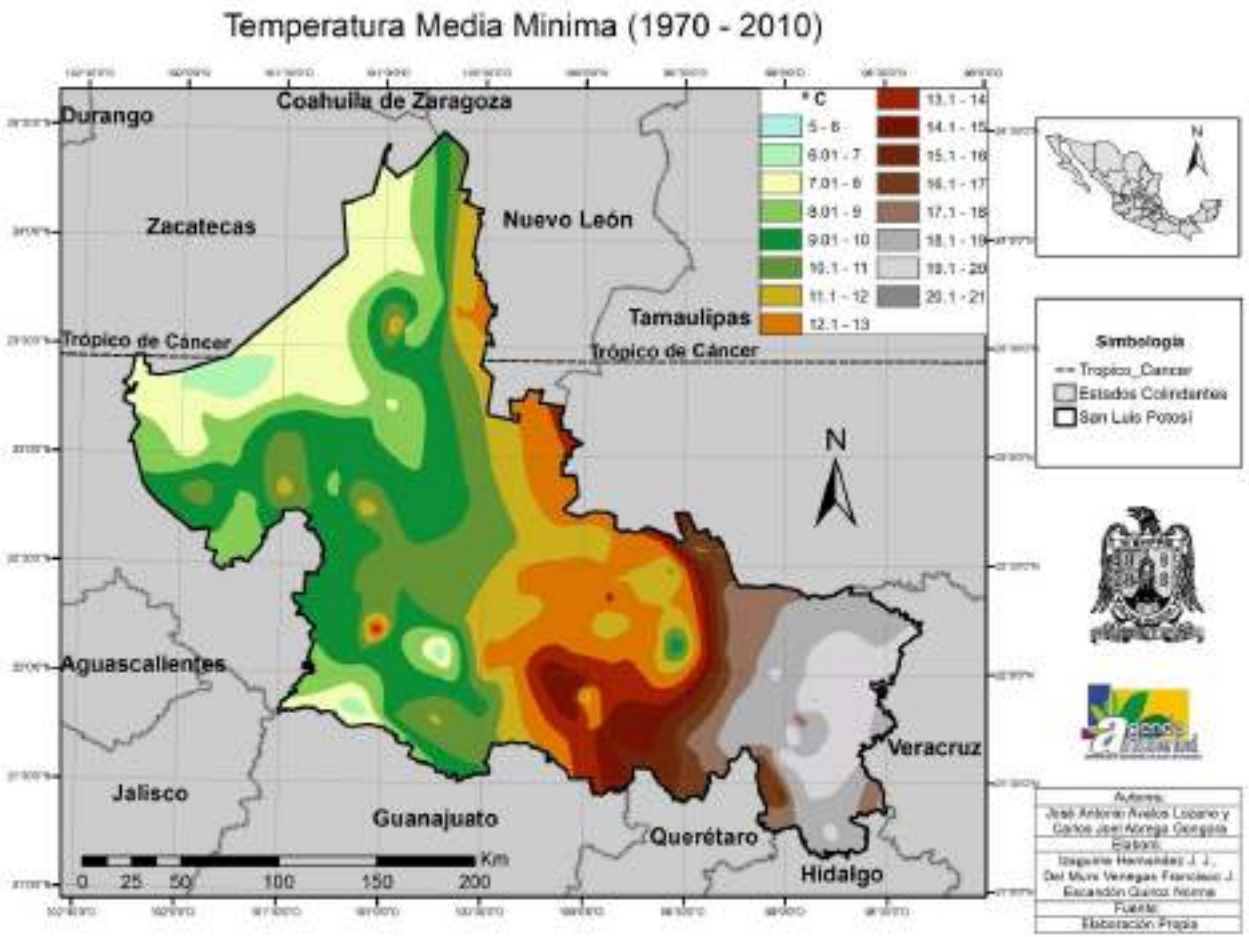
municipio de Moctezuma). En general la temperatura máxima disminuye del este al oeste del estado.

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 ^{o}C, las zonas de las menores temperaturas mínimas se encuentran en la subregión de Sierras Meridionales y al norte de la Sierra de Guaname, en la Planicie Occidental, las estaciones presentan valores de 5-7 ^{o}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 6.23) y temperatura media mínima (Mapa 6.24), como en el caso de las isoyetas se observa una relación entre la geomorfología y el patrón geográfico de distribución de la temperatura.



Mapa 6.23 Temperatura Media Máxima en el estado de San Luis Potosí (1970-2010)

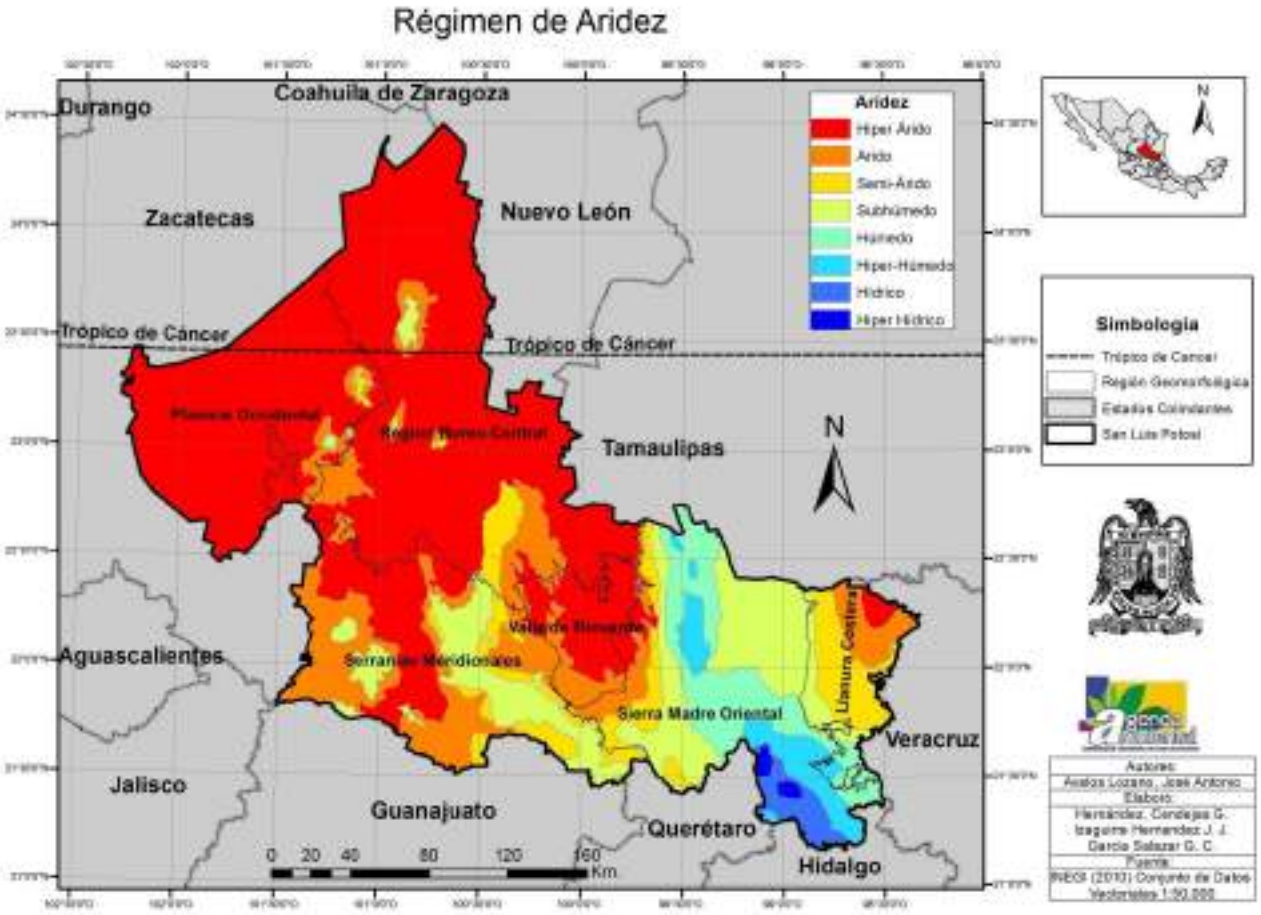


Mapa 6.24 Temperatura Media Mínima en el estado de San Luis Potosí (1970-2010)

Finalmente se calculó y cartografió el Régimen de Aridez (RA) o Régimen Hídrico, para el periodo 1980-2010, utilizando los datos de 105 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 Ia < 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 6.4 Categorías del Régimen de Aridez



Mapa 6.25 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.

C.- Se realizó un análisis de las tendencias climática para el periodo 1980-2010. Claro que el periodo marco de análisis para el estudio de línea base macroregional fue el de 1901-2010, pero para el estudio de tendencias se consideró conveniente concentrarnos en las últimas tres décadas (mismo periodo de estudio del estudio de línea base microregional), aunque sin perder de vista la variabilidad interdecadal. En general, en todo el estado el periodo de anomalía negativa comprendido de 1977-1997 fue muy débil, en comparación con otros periodos similares; en el Altiplano incluso llegó a adquirir valores significativos de anomalía positiva X> 0,5 por largos años.

Se realizó un estudio de las tendencias interanuales del clima para las diferentes regiones del estado, para la región Altiplano, en el caso de la precipitación, se presentan pocos cambios registrados en la precipitación invernal, aunque se aprecia una ligera tendencia a la baja. Sin embargo, la precipitación de verano, la más importante en la región, muestra una tendencia positiva, aunque 2010-211 refleja parte del impacto de la sequía prolongada.

La temperatura máxima de invierno de las regiones PCNO y SMO del estado muestra una tendencia a la alza en las décadas recientes, al igual que la temperatura mínima, del orden de 1°C en treinta años. Para las regiones SMO y PCNO Las tendencias de la precipitación de invierno y de verano son contrastantes. En invierno, la precipitación muestra una tendencia a la disminución. En verano, las precipitaciones muestran una tendencia al aumento.

En invierno, la humedad específica muestra una tendencia a la baja en todo el estado, aunque con mayor magnitud en la zona este ya que la humedad de la SMO y PCNO es mucho mayor que en el Altiplano.

Se aplicó una prueba de hipótesis para $\alpha = 0,1$, (la hipótesis nula Ho sería rechazada por $|Z|=1,63$), para determinar tendencias significativas de cambio en los datos e índices climáticos, Tx, Tn, HUI, pp, con series de tiempo para el periodo 1980-2010, utilizando 88 estaciones climáticas en el estado. Los resultados por región geomorfológica son:

En la PCNO (8 estaciones), para el HUI en el 12,5% de las estaciones se registra una tendencia negativa, en el 87,5% no se registran cambios significativos; **para la Tx en el 62,5% de las estaciones se observó un aumento**, en el 12,5% la Tx disminuyó; para Tn en el 25% se observa un aumentó, en el 12,5% de las estaciones Tn está disminuyendo; en la pp no se observaron cambios; **en la ETPo en el 75% de las estaciones se registró un aumento**; en el 12,5% se observó una disminución.

Se calculó el índice de aridez (Ari), índice anual, muy simple, que estima la aridez general del clima, se calculó en función del número de meses del año en que la ETPo Hargreaves excede a la precipitación. En la PCNO, considerando 7 estaciones, el Ari aumentó en el 28,57%.

En la PO (13 estaciones), para el HUI en el 15,38% de las estaciones se registró una tendencia negativa, en el 7,69% se registró un aumento; para la Tx en el 46,15% de las estaciones se observó un aumento, en el 53,8% no se registran cambios; para Tn en el 15,38% se observa un aumentó, en el 53,84% de las estaciones Tn está disminuyendo; en la pp en el 7,69% se observó un aumento, en el 15,38 disminuyó; **en la ETPo en el 46,15% de las estaciones se registró un aumento**; en el 53,85% restante no hay cambio.

En la PO, utilizando 13 estaciones, el Ari aumentó en el 53,85%.

En la BC (7 estaciones), para el HUI en el 14,28% de las estaciones se registró una tendencia negativa, en el 85,62% no se registran cambios significativos; para la Tx en el 42,85% de las estaciones se observó un aumento, en el 57,15% no se registran cambios; para Tn en el 42,85% se observa un aumentó, en el 14,28% de las estaciones una disminución; en la pp en el 14,28% se observó una disminución, y en 85,72% no se observaron cambios; **en la ETPo en el 57,14% de las estaciones se registró un aumento**; en el 42,86% restante no hay cambio.

En la BC, considerando 5 estaciones, el Ari aumentó en el 80%.

En la SME (13 estaciones), para el HUI en el 100% de las estaciones no se registran cambios; **para la Tx en el 76% de las estaciones se observó un aumento**, en el 15,38% disminuyó; para Tn en el 38,46% se observa un aumentó, en el 23,07% de las estaciones Tn está disminuyendo; en la pp en el 7,69% se observó una disminución, y en 92,3% no se observaron cambios; **en la ETPo en el 69,23% de las estaciones se registró un aumento**; disminuyó en 15,38%.

En la SME, considerando 6 estaciones, el Ari aumentó en el 33,33%.

En la SMO (38 estaciones) se observó un aumento para el HUI en el 13,15% de los sitios mientras en el 5,26% disminuyó; para la Tx en el 50% de las estaciones se observó un aumento, en el 7,9% disminuyó; para Tn en el 36,85% se observa un aumentó, en el 18,42% de las estaciones Tn está disminuyendo; en la pp en el 15,78% se observó un aumento, en el 7,9% una disminución; **en la ETPo en el 47,36% de las estaciones se**

registró un aumento; disminuyó en 10,52%. Considerando 23 estaciones, el Ari aumentó en el 26,09% de las localidades y disminuyó en el 13,04%.

En la LLRV (9 estaciones), para el HUI en el 22,22% se observó una disminución, y en el 77,78% de las estaciones no se registran cambios significativos; para la Tx en el 44,44% de las estaciones se observó un aumento, en el 55,56% no se registran cambios; para Tn en el 44,44% se observa un aumentó, en el 33,33% de las estaciones Tn está disminuyendo; en la pp en el 11,11% se observó un aumento, en el 11,11% una disminución; **en la ETPo en el 66,66% de las estaciones se registró un aumento**; y disminuyó en 11,11%. Utilizando 5 estaciones, el Ari aumentó en el 40% de las localidades.

A partir de los índices CLIMDEX construidos con datos diarios observados en el periodo 1980-2010, se observó que en la SMO las localidades donde aumentó la pp se distribuyen en todo el territorio, con excepción de una pequeña parte en la frontera con Hidalgo y en El Naranjo (al norte de la SMO).

En la PCNO se observa una disminución en la pp en Ébano (al norte).

En la LLRV se nota una tendencia a la disminución de la precipitación en la parte noreste, en cambio en el suroeste y noroeste se observa una ligera tendencia al aumento de la precipitación. En el este de Sierras Meridionales se observa una tendencia a la disminución de la precipitación, que es importante en Sierra de Álvarez, en cambio en la parte oeste de esta región se notan ligeras tendencias al aumento de la precipitación. En el sur de la región Bóreo Central, en Villa de Arista, la precipitación aumenta en forma importante, pero en el resto del Altiplano no se nota un patrón, con excepción de Sierra de Catorce, Valle de San Cristóbal y Valle de Matehuala donde se nota una ligera tendencia a la disminución de la precipitación.

La temperatura máxima (Tx) muestra un patrón de aumento en la subregión PO y en la Subregión BC. En la Llanura Costera la Tx presenta cierta tendencia al aumento. Lo mismo sucede en la SMO con excepciones en Ciudad Valles y Ciudad del Maíz. En el Valle de Rioverde y el barlovento de Sierra de Álvarez se nota un patrón de aumento en la Tx. En el Valle de San Luis y el barlovento de la Sierra de San Miguelito la temperatura máxima disminuye, pero al sotavento de la Sierra de San Miguelito la Tx aumenta.

Se nota un patrón de aumento de la temperatura mínima, en prácticamente todo el estado, principalmente en la PCNO y la SMO, también la señal es fuerte en la LLRV y en la

subregión BC. En PO y SME predomina el aumento de la temperatura mínima, pero existen localidades donde se presenta una disminución.

El índice de Aridez Ari aumentó en el periodo 1980-2010, en todas las regiones del estado. En la Bóreo Central en el 80% de las localidades analizadas, en la Planicie Costera Nor-Oriental en el 75%; en la Planicie Occidental en el 53,85%. En cambio el aumento del Ari es menor en las otras regiones.

Los resultados detallados son los siguientes: los análisis de tendencia de la temperatura y precipitación realizados a nivel regional (baja resolución), muestran patrones contrastantes, tanto espacial como temporalmente. Si se consideran las subregiones del Altiplano de San Luis Potosí y se analiza la variación de la temperatura mínima o la máxima, la tendencia en los meses de invierno no muestra una señal clara entre 1979 y el 2011 (Fig. 6.24). Posiblemente la temperatura mínima muestra una ligera tendencia de disminución en la última década y la máxima a un aumento, pero podrían sólo ser el resultado de la variabilidad interdecadal del clima más que una tendencia.

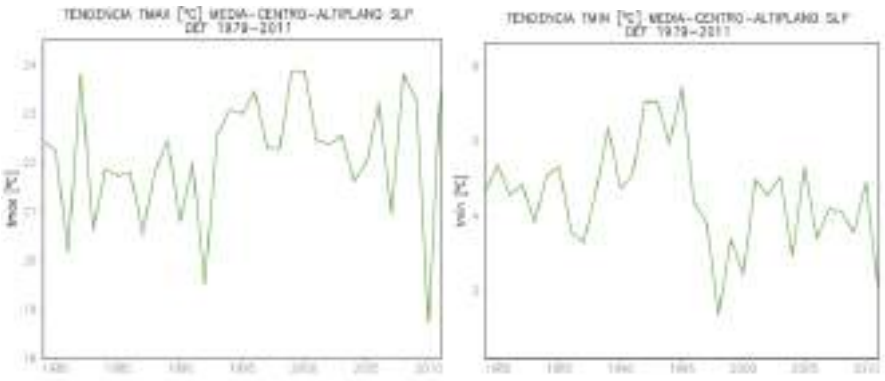


Fig. 6.24 Promedio de a) la temperatura máxima (°C) y b) de la mínima (°C) en la región centro oeste de San Luis Potosí en el periodo de invierno (dic-ene-feb) entre 1979 y 2011.

Las tendencias de la temperatura máxima y mínima del verano indican amplias fluctuaciones interanuales y una ligera tendencia al aumento, siendo el 2011 uno de los años más cálidos en historia reciente de la región Altiplano del estado, debido principalmente a la ocurrencia de la sequía.

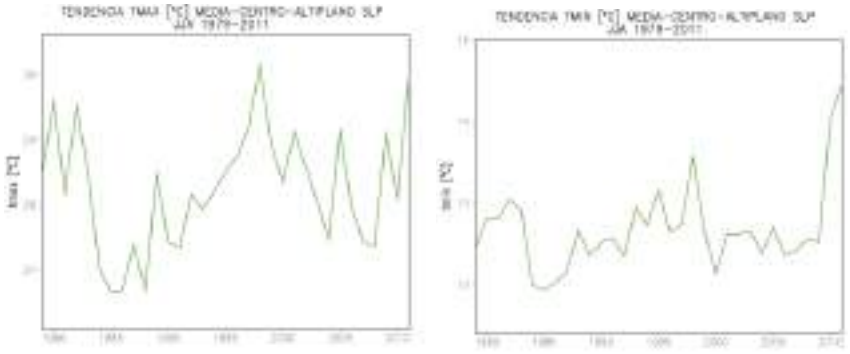


Fig. 6.25 Promedio de a) la temperatura máxima (°C) y b) de la mínima (°C) en la región centro oeste de San Luis Potosí en el periodo de verano (jun.-jul.-ago.) entre 1979 y 2011.

En el caso de la precipitación, son pocos los cambios registrados en la precipitación invernal en el Altiplano Potosino, aunque se puede apreciar una ligera tendencia a la baja. Sin embargo, la precipitación de verano, la más importante en la región, muestra una tendencia positiva, aunque 2010-211 refleja parte del impacto de la sequía prolongada.

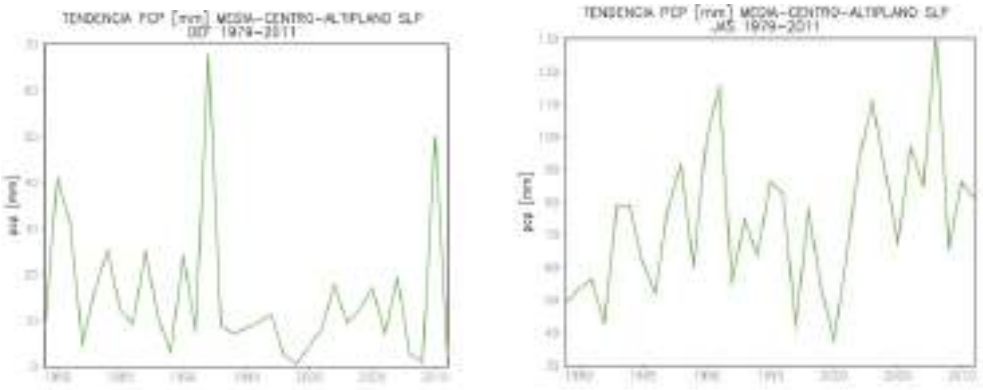


Fig. 6.26 Promedio de la precipitación (mm) a) de verano y b) de invierno, en la región centro oeste de San Luis Potosí en el periodo 1979-2011.

Las tendencias del clima en el estado de SLP resultan más interesantes en su análisis cuando se compara la región Altiplano, de características áridas, con las regiones Sierra Madre Oriental y Planicie Costera Nor-Oriental. La temperatura máxima de invierno de las regiones Planicie Costera y SMO del estado muestra una tendencia a la alza en las décadas recientes, al igual que la temperatura mínima, del orden de 1°C en treinta años.

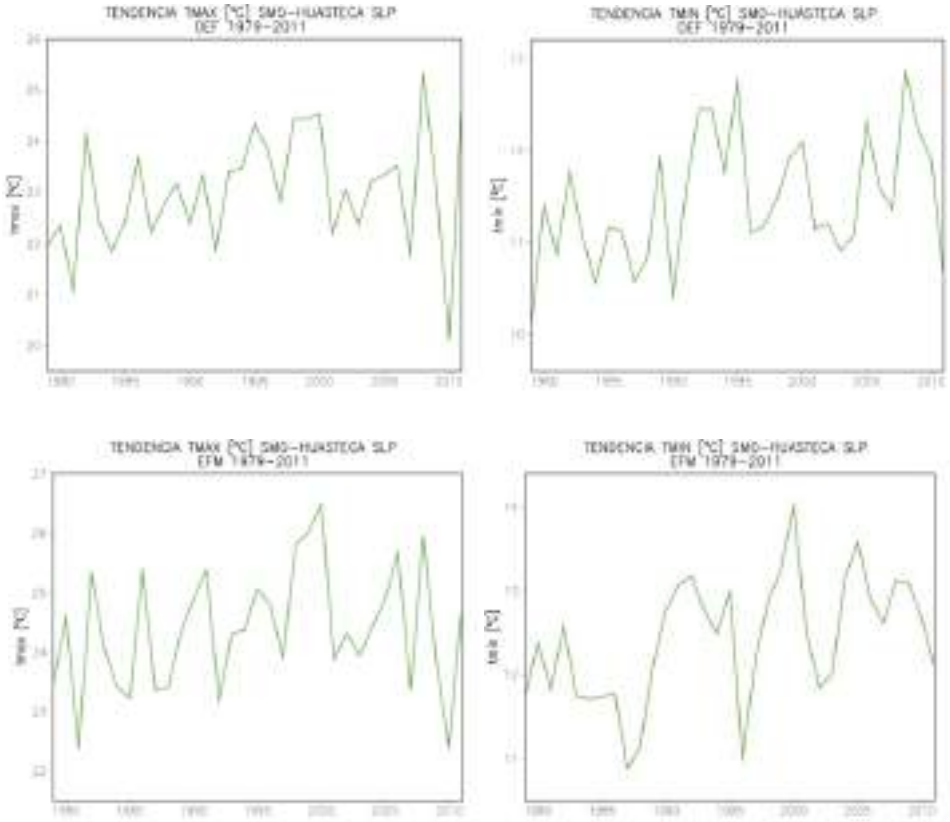


Fig. 6.27 Promedio de a) la temperatura máxima (°C); b) de la mínima (°C) en las regiones SMO y Planicie Costera de San Luis Potosí en el periodo de invierno (dic-ene-feb) entre 1979 y 2011; c) la temperatura máxima (°C); y d) de la mínima (°C) en la región este de San Luis Potosí en el periodo de invierno (ene-feb-mar) entre 1979 y 2011

En el verano, las tendencias en la temperatura son poco claras y de mucha menor magnitud en el periodo 1979-2011 que las variaciones interdecadales. Por ello, el efecto del calentamiento parece tener una estacionalidad mayormente definida en el invierno.

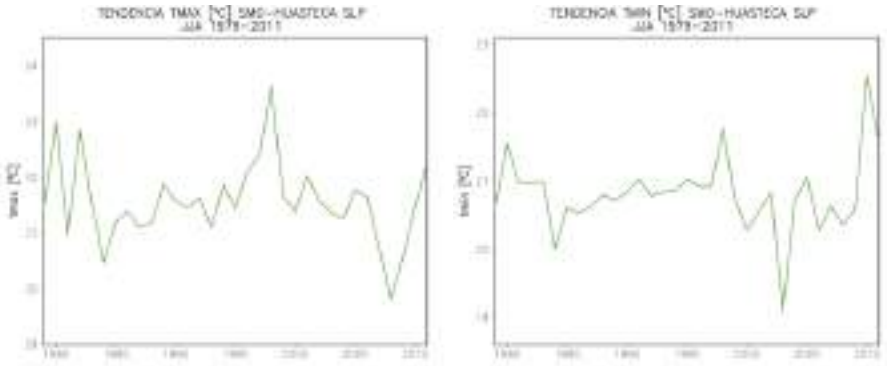


Fig. 6.28 Promedio de verano (jun-jul-ago) de a) la temperatura máxima (°C) y b) de la mínima (°C) en la región este de San Luis Potosí en el periodo entre 1979 y 2011.

Las tendencias de la precipitación de invierno y de verano son contrastantes. Por un lado, en los meses de diciembre, enero y febrero, la precipitación muestra una tendencia a la disminución aunque con algunos años recientes con lluvias invernales marcadas. En el verano, las precipitaciones muestran una tendencia al aumento, que se nota claramente.

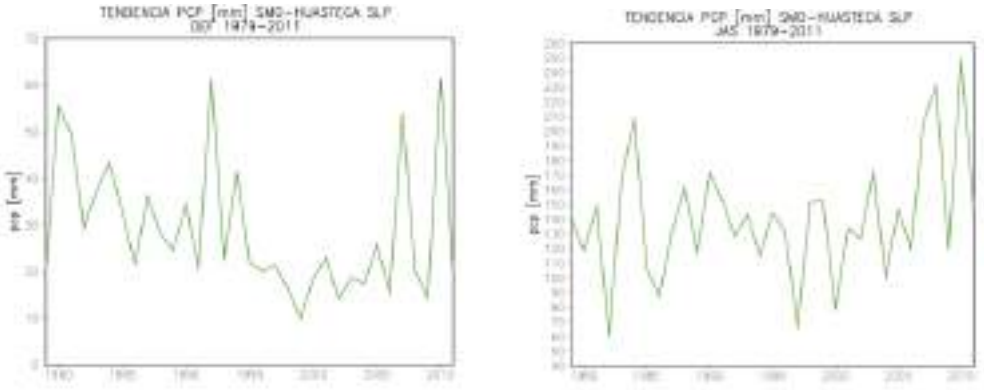


Fig. 6.29 Promedio de la precipitación (mm) a) de invierno y b) de verano, en la región este de San Luis Potosí en el periodo 1979-2011.

En invierno, la humedad específica muestra una tendencia a la baja en todo el estado, aunque con una mayor magnitud en la zona este ya que la humedad de la SMO y Planicie Costera es mucho mayor que en el Altiplano potosino.

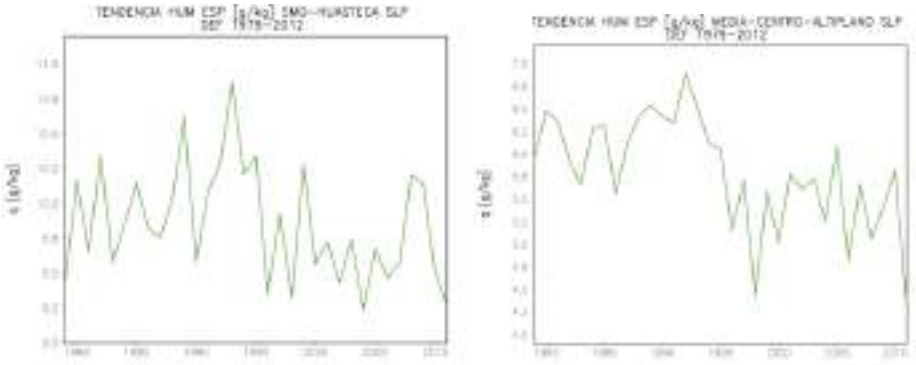


Fig. 6.30 Promedio de la humedad específica de invierno en la región a) este de SLP y oeste de SLP, entre 1979 y 2011.

Los cambios en la condición de humedad del verano son contrastantes entre el este y el oeste del estado. Mientras que la humedad específica de superficie en la SMO y Planicie Costera aumenta, en el Altiplano parece disminuir modulada por una oscilación de muy baja frecuencia.

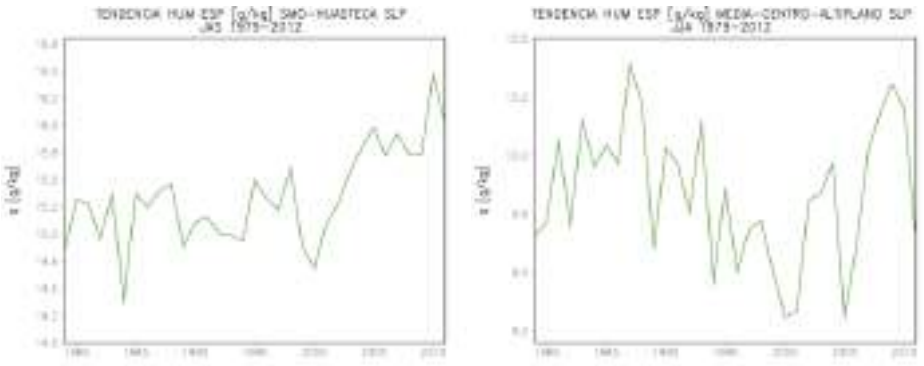
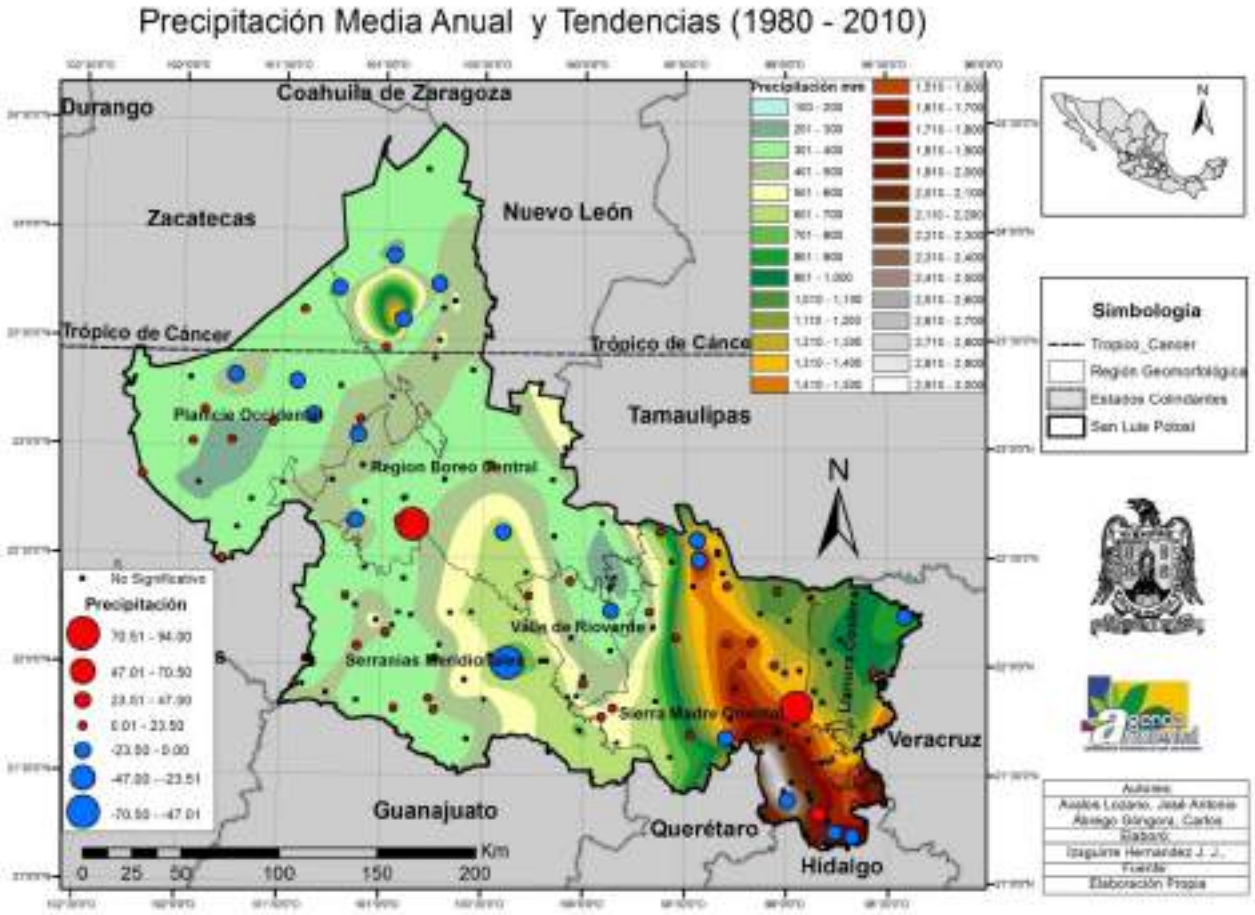


Fig. 6.30 Promedio de la humedad específica de verano en la región a) este de SLP y oeste de SLP, entre 1979 y 2011.

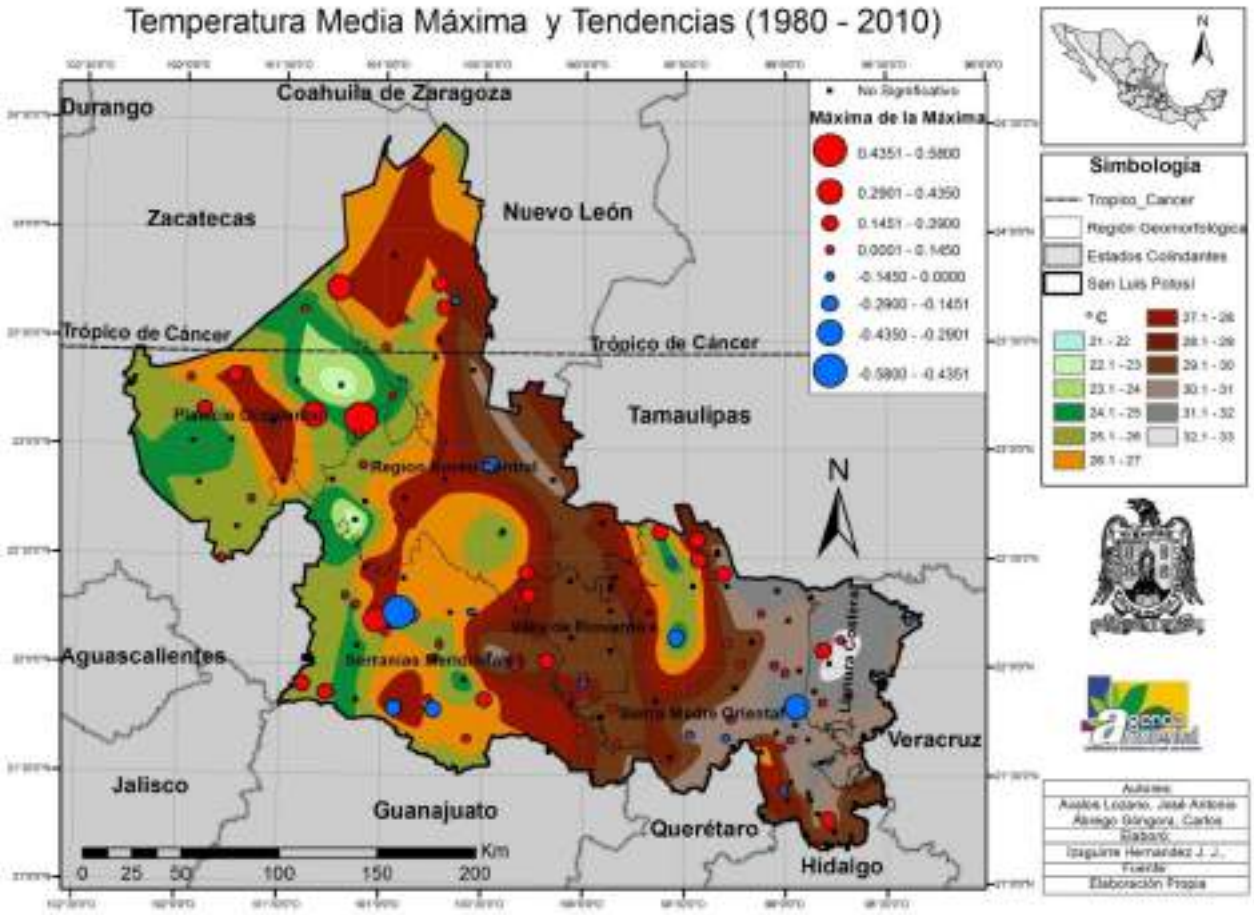
En el Mapa 6.29 se observan las tendencias de cambio de la precipitación calculadas a partir de los datos diarios observados en el periodo 1970-2011. Resulta claro que en la mayor parte de la SMO la precipitación tiende a aumentar, en particular en la estación 24079 “Santiaguillo”, al sur de Ciudad Valles en cambio en la Planicie Costera no se observa esta señal con tanta claridad. En la Llanura de Rioverde se nota una tendencia a la disminución de la precipitación en la parte noreste, en cambio en el suroeste y noroeste se observa una ligera tendencia al aumento de la precipitación. En el este de Sierras Meridionales se observa una tendencia a la disminución de la precipitación, que es muy importante en Sierra de Álvarez, en cambio en la parte oeste de esta región se notan ligeras tendencias al aumento de la precipitación. En el sur de la región Bóreo Central, en Villa de Arista, la precipitación aumenta en forma importante, pero en el resto del Altiplano no se nota un patrón, con excepción de Sierra de Catorce, Valle de San Cristóbal y Valle de Matehuala donde se nota una ligera tendencia a la disminución de la precipitación.



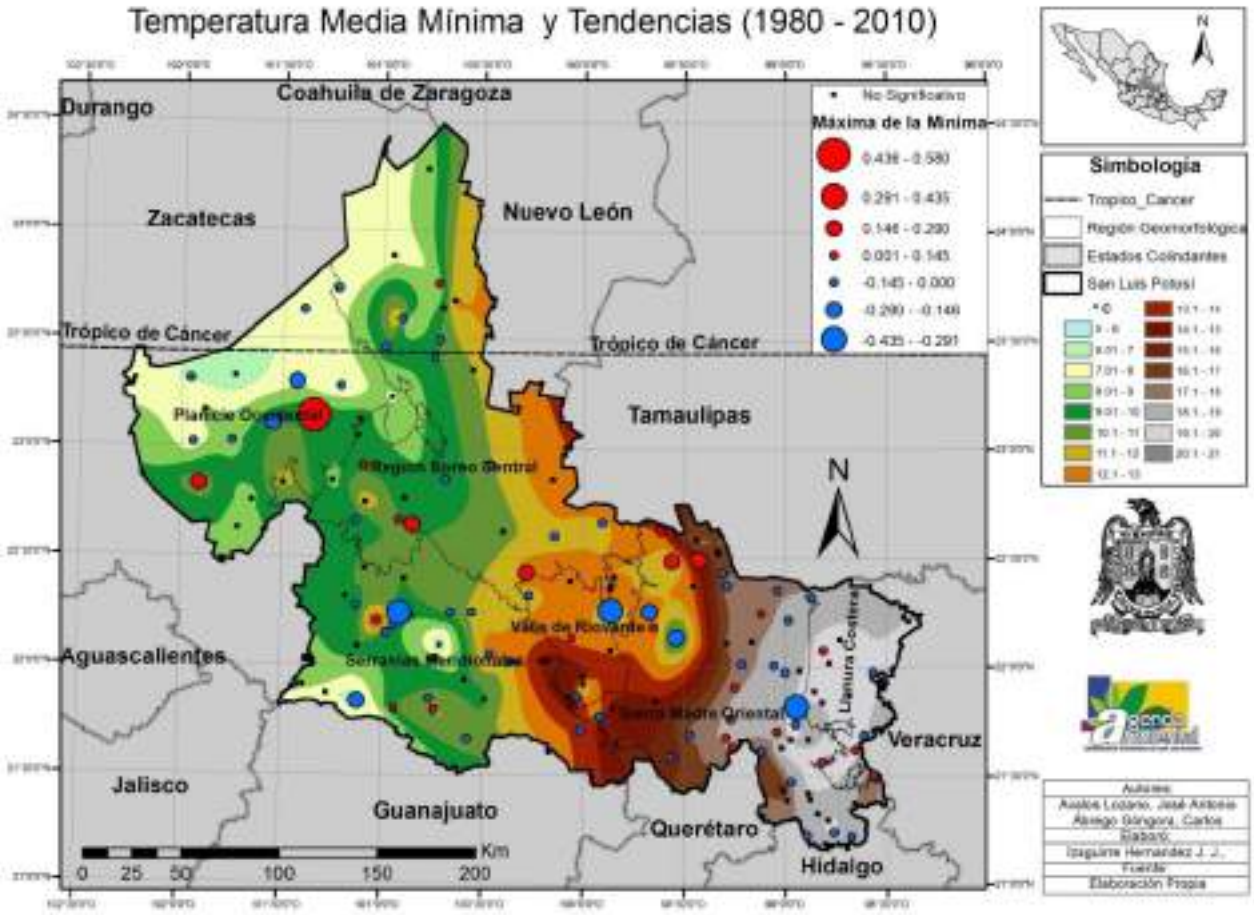
Mapa 6.29 Precipitación media anual y tendencias de precipitación en el estado de San Luis Potosí, en el periodo 1980 y 2010.

La Tx muestra un patrón de aumento en la subregión PO, en el caso de la Subregión BC sucede lo mismo con la excepción de un par de localidades. En la PCNO la temperatura máxima presenta cierta tendencia al aumento. Lo mismo sucede en la SMO con ciertas excepciones en Ciudad Valles y Ciudad del Maíz. En la LLRV y el barlovento de Sierra de Álvarez se nota un patrón de aumento en la Tx. En el Valle de San Luis y el barlovento de la Sierra de San Miguelito la temperatura máxima disminuye, pero al sotavento de la Sierra de San Miguelito la Tx aumenta.

Se nota un patrón de aumento de la temperatura mínima, en prácticamente todo el estado, principalmente en la planicie costera y la SMO, también la señal es fuerte en el Valle de Rioverde y en la subregión Bóreo-Central. En Planicie Occidental y Sierras Meridionales predomina el aumento de la temperatura mínima, pero existen localidades donde se presenta una disminución.

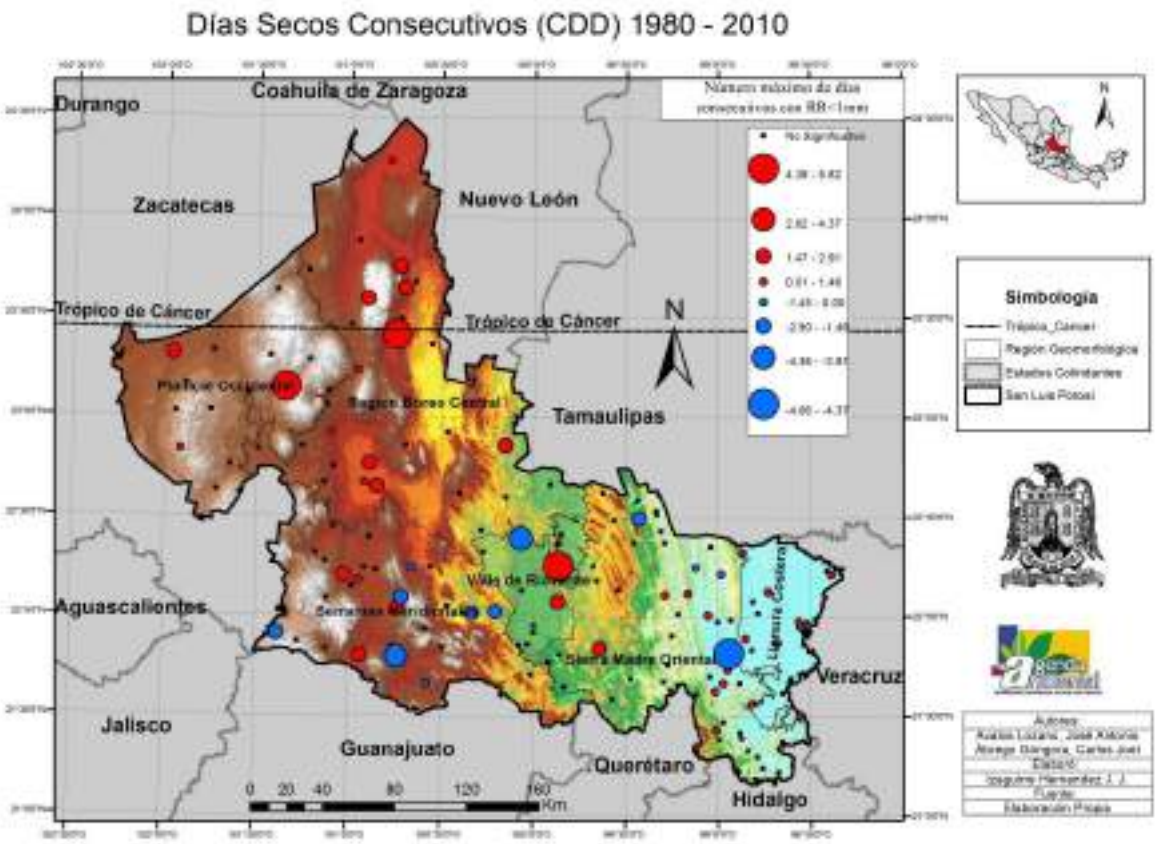


Mapa 6.30 Temperatura media máxima anual y tendencias de aumento en la temperatura máxima en San Luis Potosí, 1980-2010.



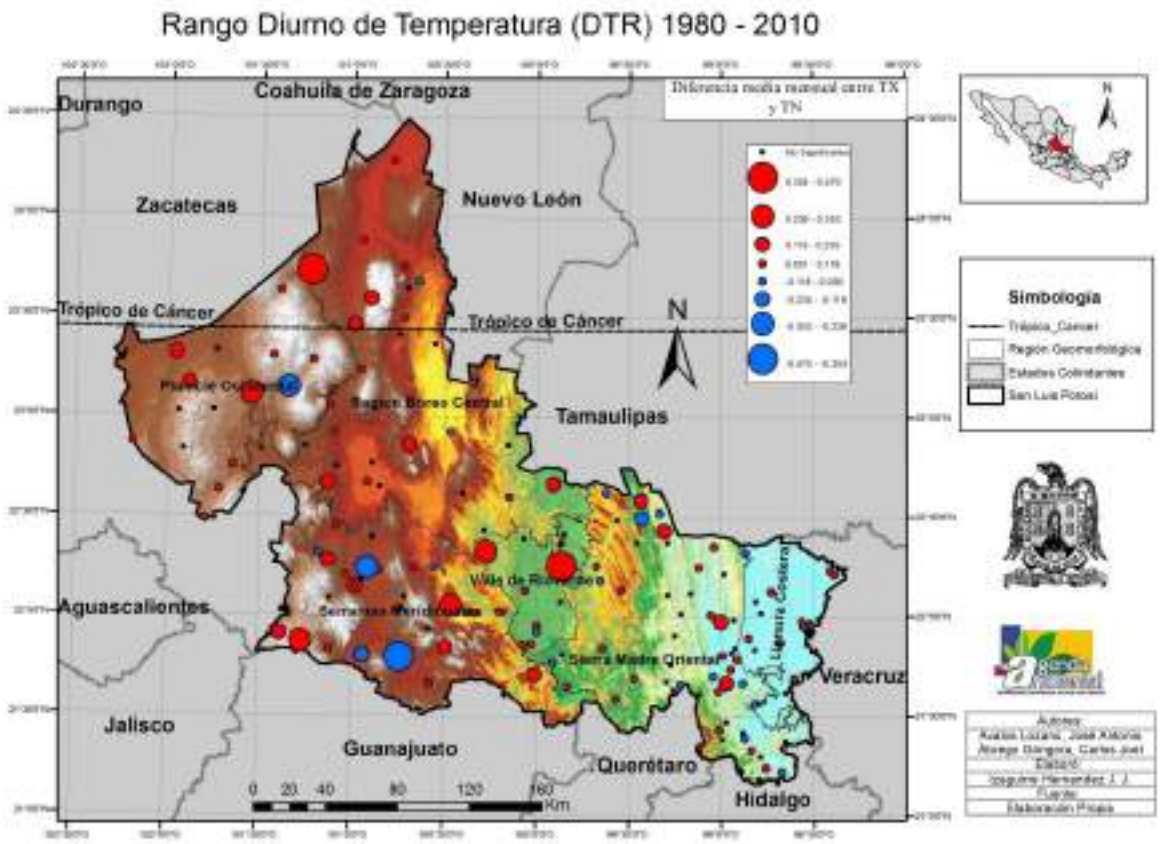
Mapa 6.31 Temperatura media mínima anual y tendencias de aumento en la temperatura mínima en San Luis Potosí, periodo 1980-2010.

Cuando se analiza el indicador “días secos consecutivos” (número máximo de días consecutivos con precipitación menor a1mm encontramos que con excepción del Pujal, al sur de Ciudad Valles, y en el norte de la SMO (El Naranjo); en la Planicie Costera y el Barlovento de la SMO los días secos tienen una ligera tendencia a aumentar, lo mismo sucede en la subregiones Bóreo-Central y Planicie Occidental, con la diferencia de que la tendencia es mucho más importante, lo que demuestra que el régimen intranual de precipitación se está modificando.



Mapa 6.32 Días secos consecutivos en el estado de San Luis Potosí, en el periodo 1980-2010.

Prácticamente en toda la Planicie Occidental y en la subregión Bóreo-Central aumenta el rango diurno de temperatura, este indicador influye directamente en las heladas y en los procesos de intemperización física del suelo, el aumento de este indicador también predomina en el resto del estado, con excepción de la zona sureste de la SMO, y el valle situado entre la Sierra de San Miguelito y Sierra de Álvarez.



Mapa 6.33 Rango diurno de temperatura en el estado de San Luis Potosí, en el periodo 1980-2010.

A pesar del aumento marcado en la humedad específica del aire cerca de la superficie de la última década en la Planicie Costera, no hay un aumento marcado en la precipitación, aunque sí en la temperatura mínima. En cambio en el barlovento de la Sierra Madre Oriental los índices indican un aumento en la precipitación, en la temperatura mínima y en menor grado en la TM. Por otro lado, y a pesar de la aparente tendencia a la disminución en la humedad específica de verano en la zona centro oeste del estado, existe un

ligero aumento en la precipitación de la región, con excepción de algunos valles situados a sotavento de las Sierras del Altiplano. Es claro que no basta con disponer de más o menos humedad para producir cambios en las lluvias a nivel regional, sino que deben considerarse factores de estabilidad y dinámica de las circulaciones locales. Adicionalmente, los valores mostrados hasta ahora sólo corresponden a superficie por lo que es necesario un diagnóstico de lo que sucede al menos en la capa límite planetaria. Los contrastes en el ciclo hidrológico de verano entre la zona este y oeste del estado de San Luis Potosí sugieren una importante influencia de la condición de uso de la tierra. Los cambios en la cubierta vegetal podrían producir mayor humedad evaporándose en la Huasteca aumentando la humedad específica en la atmósfera. Esta misma humedad podría viajar en niveles más elevados de la capa límite hacia el altiplano potosino en donde la disminución en la estabilidad atmosférica, producto del calentamiento cerca de la superficie, pudiera aumentar la actividad convectiva. En otras palabras, la humedad de verano que aumenta en la Huasteca podría estar precipitando en el Altiplano por efecto de la advección de humedad por lo viento alisios. Esto no debe considerarse, sin embargo, como la explicación a las señales del clima regional, sino que provee una hipótesis de trabajo para reconocer que los forzantes, como los asociados al cambio en el uso de suelo pueden ser de igual o mayor magnitud que los relacionados con el incremento de los gases de efecto invernadero.

Los alisios de verano sobre la zona de la Huasteca parecen debilitarse ligeramente lo que podría explicar la disminución en la humedad que llega del Golfo de México hacia esta zona del este de SLP. Sin embargo, los alisios sobre la zona centro oeste del estado se han incrementado, lo que podría significar que la entrada de humedad al altiplano potosino está creciendo. Será necesario analizar en qué medida la convergencia o divergencia de humedad ha cambiado regionalmente para establecer si la explicación a los cambios en la humedad específica está en cambios en los patrones de circulación regional, y estos a su vez en cambios en los usos del suelo.

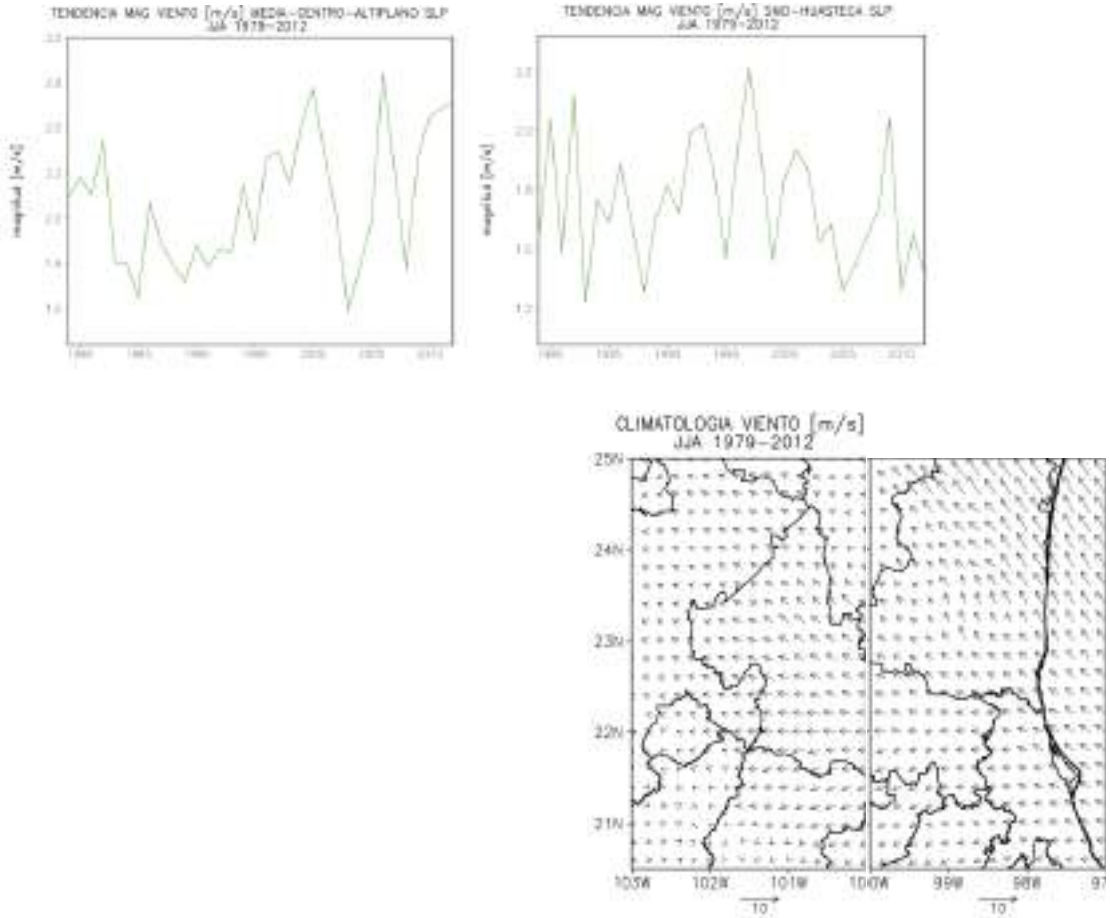


Fig. 6.31 Valores de la magnitud del viento (m/s) en verano (jun-jul-ago) en la región del altiplano y la Huasteca en SLP en el periodo 1979-2011. Campos medios de viento de superficie en el verano en SLP.

También se calcularon y cartografiaron, para las 64 estaciones climáticas la variación en el Índice anual de Humedad (HUI) para el periodo 1980-2010. El índice se calculó de acuerdo a la siguiente formula:

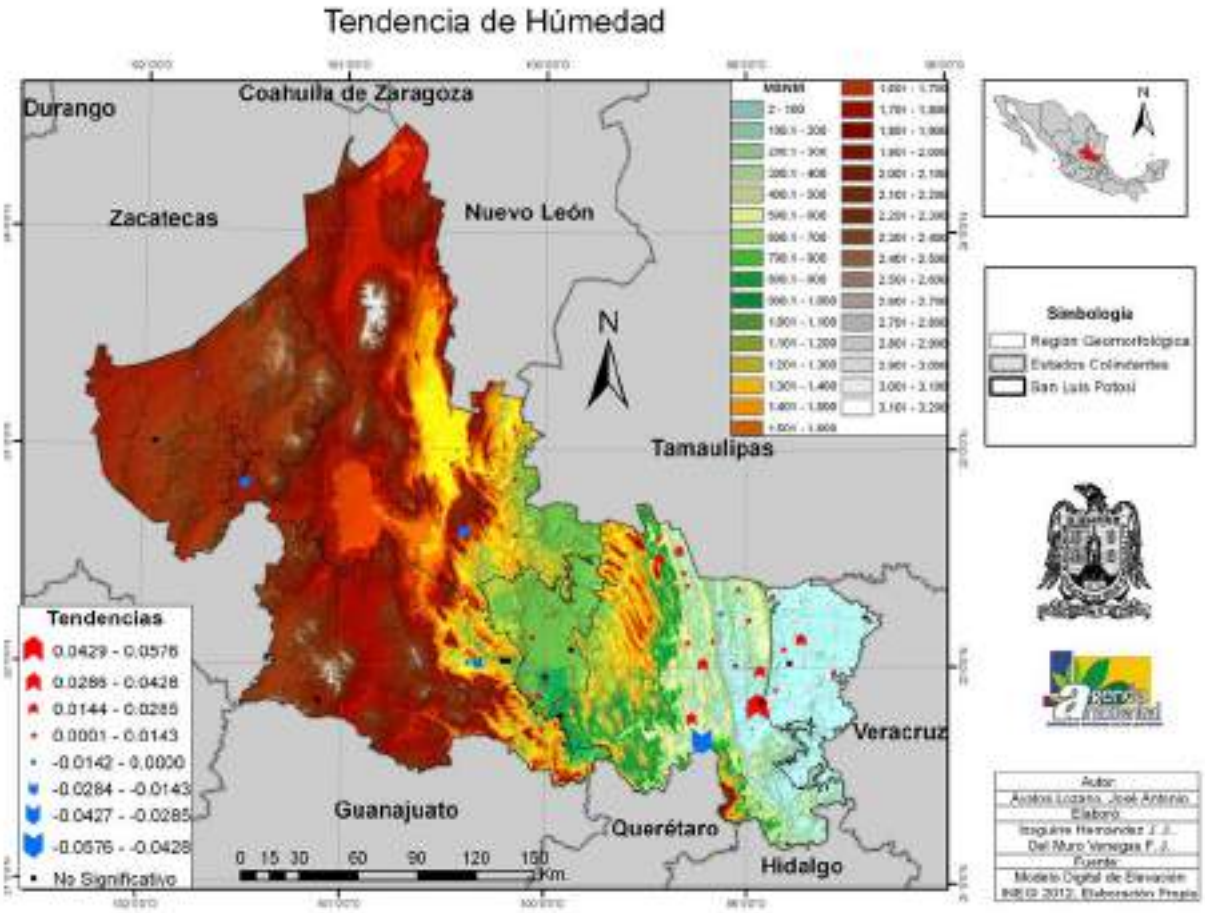
Hui= P/ETPo

Dónde:

P= precipitación

ETPo = evapotranspiración potencial (método de Hargreaves)

Queda claro que el RA y el HUI no son comparables.



Mapa 6.34 Tendencia de la HUI en el estado de San Luis Potosí, en el periodo 1980-2010.

C.2 Se realizó un estudio de las tendencias mensuales del clima para las diferentes regiones del estado, mediante un análisis estadístico detallado, realizado en 66 estaciones situadas en San Luis Potosí.

Aunque las tendencias de cambo interanuales, discutidas en el anterior apartado, son importantes, los valores anuales no tienen mucho sentido biológico, es mucho más importante determinar las tendencias de cambio en los valores mensuales de pp, Tx y Tn, esto tiene más sentido, debido a que la evapotranspiración especifica (ETPc) varía dependiendo de las etapas o fases de la estación de crecimiento, reguladas por la fecha de plantación, ritmo de desarrollo, duración del periodo vegetativo y las condiciones del tiempo (lluvia, humedad, temperatura, viento). Esto puede explicar algunos procesos que se detallarán adelante y que no pueden entenderse usando simplemente las tendencias anuales. Resultó claro que aunque las tendencias de cambio en los valores anuales de pp, Tx, y Tn, en muchas localidades, no son estadísticamente significativas, las tendencias de cambio mensuales en estos elementos si resultaron significativas y esto se traduce en diferentes impactos ecológicos.

Se aplicó una prueba de hipótesis para $\alpha = 0,1$ (la hipótesis nula Ho sería rechazada por $|Z|=1,63$), para determinar tendencias significativas de cambio en los datos e índices climáticos, Tx, Tn, pp, con series de tiempo para el periodo 1980-2010. Los resultados significativos estadísticamente por región geomorfológica son:

En la Llanura de Rioverde (6 estaciones), la temperatura máxima aumentó en el 16,67% de las estaciones climáticas en los meses de febrero, marzo, julio y diciembre; la misma variable se incrementó en el 33,33% de las EC los meses de abril, agosto y octubre; mientras que en enero, mayo y septiembre se incrementó en el 50% de los sitios; la Tx aumentó en el 83,33% de las localidades en junio; y finalmente en noviembre en el 16,67% de las EC aumentó y en el 16,67% disminuyó. Es notable que en los meses más calientes aumentó el número de estaciones en las que la Tx se incrementa.

La temperatura mínima disminuyó en noviembre en el 16,67% de los sitios; la misma variable disminuyó en los meses de enero, marzo, octubre y diciembre en el 33,33% de las estaciones; para los meses de febrero y junio el 33,33% de las EC disminuyó y el 33,33% aumentó; para abril y julio en el 16,67% de las localidades la Tn disminuyó y en el 16,67% aumentó; para mayo la variable disminuyó en el 33,33% de los sitios y en el 16,67% aumentó; y finalmente para agosto y septiembre en el 16,67% de las estaciones disminuyó

y el 33,33% aumentó. Es notable que el aumentó en la Tn para la región se concentra en la época de lluvias.

La precipitación disminuyó en el 16,67% de las estaciones en enero, marzo, octubre y noviembre; para junio y julio esta variable disminuyó en el 16,67% de los sitios y en el 16,67% aumentó; para agosto en el 33,33% de las localidades la pp aumentó; y para septiembre en el 16,67% de las EC disminuyó y en el 33,33% aumentó. Al analizar las correlaciones encontramos un gran correlación entre la pp y la Tn, por ejemplo, en la EC 24195 encontramos R^2 = 0,771. Es notable que considerando exclusivamente las seis estaciones utilizadas, la ETPo anual aumentó significativamente en el 50%.

En Serranías Meridionales (7 estaciones) la temperatura máxima aumentó en los meses de enero, agosto, septiembre, octubre y diciembre en el 57,14% de las EC mientras que disminuyó en el 14,29%; para marzo la misma variable aumentó en el 42,86% de los sitios y el 14,29% disminuyó; la Tx aumentó en febrero y noviembre en el 28,57% de las estaciones mientras disminuyó en el 14,29%; para abril el elemento del clima aumentó en el 57,14%; para mayo y junio la variable aumentó en el 42,86% de las localidades; y notablemente la temperatura máxima aumentó en julio en el 71,43% de los sitios. En los meses más calientes aumenta el número de estaciones con una tendencia de aumento en la Tx.

La temperatura mínima disminuyó en el 14,29% de las estaciones y aumentó en el mismo porcentaje en los meses de enero, octubre y noviembre; esta variable en los meses de febrero, marzo, abril, julio y septiembre disminuyó en el 14,29% de los sitios y en el 28,57% aumentó; para mayo y junio la Tn disminuyó en el 28,57% de las localidades y en el 28,57% aumentó; mientras para agosto en el 28,57% de las estaciones el elemento aumentó; finalmente, en diciembre la temperatura mínima disminuyó en el 57,14% y aumentó en el 14,29%.

La precipitación disminuyó en el 14,29% de los sitios en abril, noviembre y diciembre, la misma variable disminuyó en mayo en el 57,14% de las localidades; y finalmente, la pp aumentó en el 28,57 de las EC en los meses de marzo y agosto.

Si consideramos que en el mes de mayo (el más caliente del año en la región) la Tx aumentó significativamente en el 42,86% de las EC y la pp disminuyó en el 57,14% (en prácticamente las mismas estaciones), entonces podemos entender porque en esta región, considerando exclusivamente las siete estaciones utilizadas, la ETPo hargreaves anual aumentó significativamente en el 70%.

En la Planicie Costera Nor-Oriental (5 estaciones) la temperatura máxima aumentó en los meses de enero, marzo, junio, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, en el 40% de las estaciones climáticas; para abril, mayo, julio y agosto la misma variable aumentó en el 60% de los sitios; y finalmente en febrero la Tx aumentó en el 80% de las localidades.

La temperatura mínima aumento en el 20% de las estaciones los meses de julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre; la misma variable aumentó en el 40% de los sitios en enero y febrero; para mayo y junio la Tn disminuyó en el 20% de las localidades; y finalmente para agosto el 20% de las EC aumentó y el 40% disminuyó.

La precipitación disminuyó en el 20% de los sitios los meses de abril, septiembre y diciembre; en mayo la variable disminuyó en el 60% de las estaciones; la pp aumentó en agosto, octubre y noviembre en el 20% de las localidades.

La ETPo hargreaves anual aumentó significativamente en el 80% de las EC.

En la Planicie Occidental (8 estaciones) la temperatura máxima aumentó en diciembre en el 12,5% de las localidades y en el 12,5% disminuyó; la Tx aumentó en enero en el 50% de las estaciones y en el 25% disminuyó; en febrero y noviembre la variable aumentó en el 25% de los sitios; en marzo el elemento aumentó en el 25% de las EC y en el 25% disminuyó; en abril, agosto y octubre la variable aumentó en el 37,5% de las EC y en el 12,5% disminuyó; para mayo y junio en el 37,5% de las localidades aumentó la Tx y en el 25% disminuyó; en julio la variable aumentó en el 37,5% de las estaciones; por último, en septiembre la temperatura máxima aumentó en el 12,5% de los sitios y en un 25% disminuyó.

La temperatura mínima aumentó para febrero, julio, agosto y octubre en el 12,5% de los sitios y disminuyó en el 12,5%; la misma variable aumentó en el 12,5% de las localidades y disminuyó en el 25%, en mayo y junio; la Tn aumentó en el 12,5% de las estaciones climáticas y disminuyó en el 37,5%, en los meses de enero, marzo, abril; para septiembre la variable aumentó en el 25% de las EC y disminuyó en el 12,5%; y para noviembre y diciembre aumentó en el 12,5% y disminuyó en el 50%.

La precipitación disminuyó en el 50% de las estaciones en enero; para abril, mayo, junio, julio y octubre la misma variable disminuyó en el 12,5% de las EC; para agosto la pp aumentó en el 12,5% y disminuyó en el 25%; para septiembre la precipitación aumentó en el 25% de las localidades; para noviembre y diciembre disminuyó en el 25% de las EC. La

ETPo hargreaves anual aumentó significativamente en el 50% de las EC y disminuyó en el 12,5%.

En la Bóreo Central (10 estaciones) La temperatura máxima aumentó en el 20% de las localidades para los meses de enero, febrero; para los meses de marzo, julio y agosto aumentó la misma variable en el 40% de las estaciones; la Tx se incrementó en el 50% de las EC en abril, mayo y junio; para septiembre aumentó la variable en el 10% de los sitios y en un 10% disminuyó; en octubre 10% aumentó y disminuyó el 20%; en noviembre el 10% disminuyó; finalmente en diciembre en el 10% aumentó y en el 20% disminuyó.

La temperatura mínima aumentó en el 20% de las localidades y en el 30% disminuyó para el mes de enero; para febrero la misma variable aumentó en el 20% de los sitios y disminuyó en el 10%; para marzo, junio, julio y agosto la Tn aumentó en el 20% de las EC y disminuyó en el 20%; para el mes de abril el elemento aumentó 40% y disminuyó 20%; la Tn aumentó en el 10% de las plazas y disminuyó en el 30% en mayo, octubre y noviembre; la temperatura mínima aumentó en el 30% de las localidades para septiembre y disminuyó en el 40%; finalmente para diciembre disminuyó en el 50%.

La precipitación aumentó en el 10% de los sitios y disminuyó en el 50% en enero; para marzo, octubre y noviembre la variable aumentó en el 10% de las plazas y en el 10% disminuyó; para abril la pp disminuyó en el 20% de las estaciones; mientras para mayo la misma variable disminuyó en el 40%; para agosto la variable aumentó en el 10% de las EC; y para septiembre aumentó en el 20%; finalmente en diciembre la pp aumentó en el 10% de los sitios y en el 40% disminuyó.

La ETPo hargreaves anual aumentó significativamente en el 60% de las EC.

En Sierra Madre Oriental (30 estaciones) la temperatura máxima aumentó para el mes de enero en el 20% de las estaciones climáticas mientras en el 3,33% disminuyó; para febrero en el 33,33% de las localidades la variable aumentó y en el 3,33% disminuyó; en marzo en el 13,33% de los sitios la Tx aumentó y en el 3,33% disminuyó; en abril la variable aumentó en el 23,33% de las EC y en el 3,33% disminuyó; en mayo la temperatura máxima aumentó en el 26.67% de las estaciones y en el 3,33% disminuyó; para junio Tx aumentó en el 13,33% de las localidades y en el 10% disminuyó; en julio el elemento se incrementó en el 16,67% de las plazas y en el 6,67% sufrió un decremento; en agosto la Tx aumentó en el 23,33% de los sitios mientras en el 10% disminuyó; para septiembre la variable aumentó en el 10% de los lugares de monitorización y en un 10% disminuyó; para octubre las tendencias de Tx aumentaron en el 26,67% de las EC y disminuyeron en el 10%; en

noviembre la temperatura máxima aumentó en el 6,67% de las estaciones y en el 16,67 disminuyó; finalmente en diciembre aumentó en el 16,67% y disminuyó en el 6,67%.

La temperatura mínima para el mes de enero aumentó en el 3,33% de las EC y en el 10% disminuyó; para febrero en el 6,67% aumentó y en el 10% disminuyó; para marzo en el 16,67% de los sitios aumentó la Tn y en el 10% disminuyó; para abril la Tn aumentó en el 10% y en el 10% disminuyó; para mayo la tendencia se incrementó en el 13,33% y decremento en el 23,33%; en junio Tn aumentó en el 16,67% y disminuyó en el 23,33%; para julio la tendencia de la T. minina aumentó en el 46,67% de las plazas y en el 20% disminuyó; para agosto Tn creció en el 33,33% y disminuyó en el 26,67%; para septiembre la tendencia aumentó en el 40% y disminuyó en el 6,67%; para octubre Tn aumentó en 6,67% de las plazas y en el 10% disminuyó; mientras para noviembre la variable creció en el 6,67% y se redujo en el 20%; para diciembre la variable disminuyó en el 20%.

La precipitación para enero disminuyó en el 6,67% de las plazas; para febrero, abril y noviembre hizo lo propio en el 3,33%; para mayo la variable disminuyó en el 43,33% de los sitios, mientras que en diciembre lo hizo en el 47,67%; para junio la pp aumentó en el 6,67% de los sitios mientras en el 10% disminuyó; para julio y agosto la tendencia creció en el 10% de las EC; para septiembre la pp se incrementó en el 16,67% de los lugares; y finalmente, para octubre, la tendencia creció en el 26,67%.

A pesar de que el porcentaje de estaciones donde se presentan una disminución estadísticamente significativa de la pp anual apenas alcanza el 10%, para el periodo de 1980 a 2010; en la SMO están ocurriendo cambios clave en la variación mensual de la pp, pues en el 43,33% de las EC este elemento disminuyó para el mes de mayo, adicionalmente la Tx aumentó en el 26,67% de las estaciones para el mismo mes (en el resto de las estaciones la Tx de mayo se mantuvo sin cambio, con una excepción). Al considerar que mayo es el mes de mayor temperatura máxima, resulta claro que en gran parte del territorio se presentó un aumento del estrés hídrico en la vegetación y cultivos. Por otro lado, en diciembre disminuyó la pp en el 43,33% de las estaciones, mientras la Tx aumentó, en el mismo mes, en el 16,67% de las EC; este hecho tiene grandes implicaciones, Rzedowski (1966: 39) observó que en la SMO llueve más en enero o en diciembre que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias, este pico de lluvia invernal es de importancia extraordinaria ya que la sobrevivencia de las formaciones vegetales y el segundo ciclo de cultivo de la

milpa dependen de éste, esta disminución del pico invernal es especialmente deletérea desde el punto de vista ecológico.

La ETPo Hargreaves anual aumentó significativamente en el 36,67% de las EC.

Adelante se presentan algunos ejemplos de las tendencias calculadas:

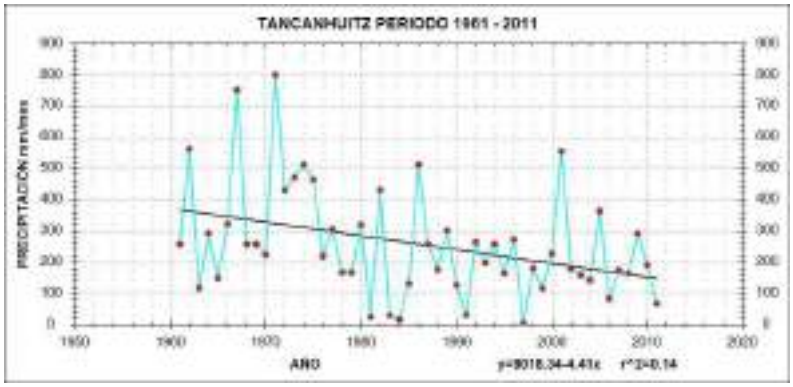


Fig. 6.32 Grafica de la precipitación mensual correspondiente al mes de mayo para el periodo 1961-2011, en la estación 24002 "Tancanhuitz".

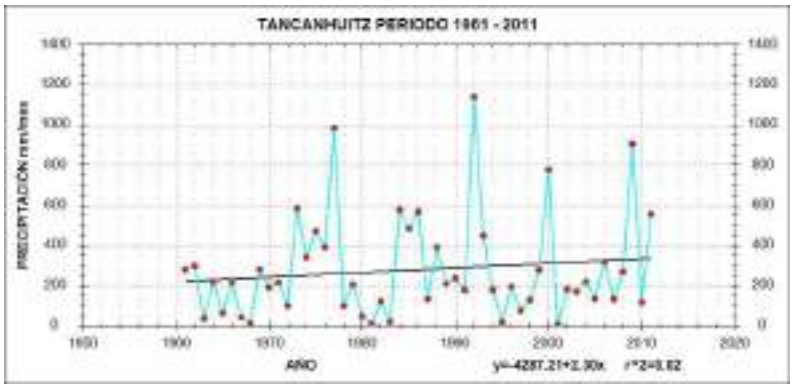


Fig. 6.33 Grafica de la precipitación mensual correspondiente al mes de junio para el periodo 1961-2011, en la estación 24002 "Tancanhuitz".

Como puede observarse en las dos graficas anteriores, para la estación 24002 ubicada en el barlovento de la SMO, la precipitación en el mes de mayo está disminuyendo significativamente (α<0.05), en cambio en la misma localidad para el mes de junio la precipitación está aumentando significativamente (α<0.05), lo cual podría significar estadísticamente que para el periodo 1961-2011, el régimen de precipitación intranual está cambiando, corriéndose el inicio del periodo de lluvias de mayo a junio.

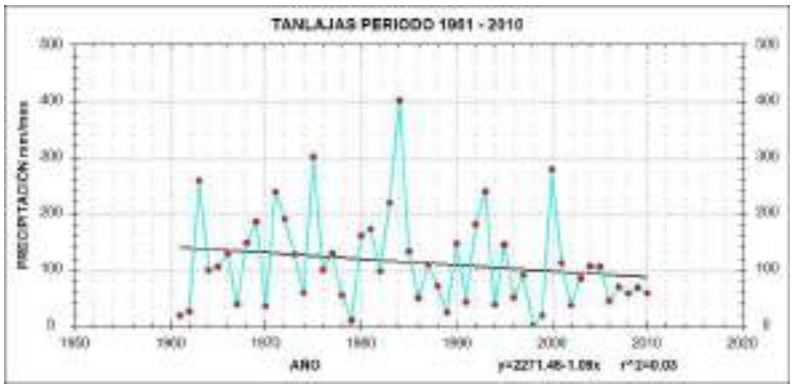


Fig. 6.34 Grafica de la precipitación mensual correspondiente al mes de junio para el periodo 1961-2011, en la estación 24005 "Tanlajas".

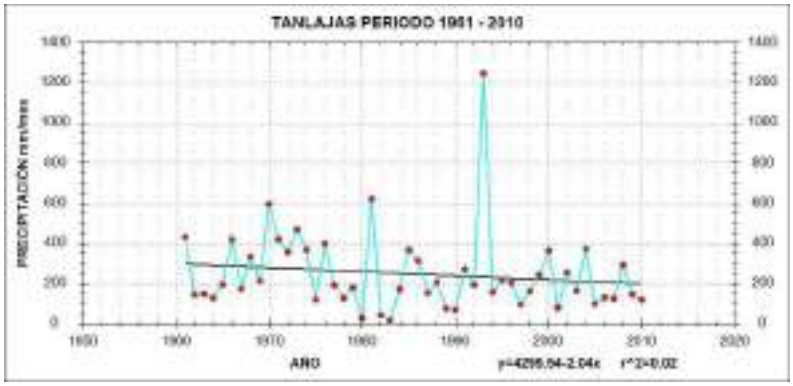


Fig. 6.35 Grafica de la precipitación mensual correspondiente al mes de junio para el periodo 1961-2011, en la estación 24005 "Tanlajas".

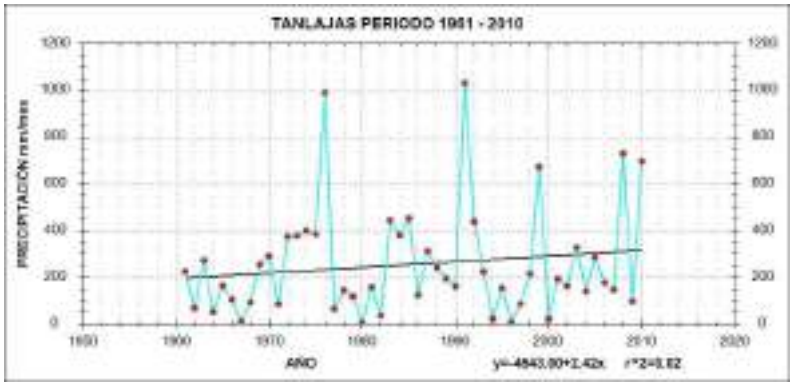


Fig. 6.36 Grafica de la precipitación mensual correspondiente al mes de julio para el periodo 1961-2011, en la estación 24005 "Tanlajas".

Como puede observarse en las tres graficas anteriores, para la estación 24005, ubicada en el barlovento de la SMO, la precipitación en los meses de mayo y junio está disminuyendo significativamente (α<0.05), en cambio en la misma localidad para el mes de julio la precipitación está aumentando significativamente (α<0.05), lo cual podría significar

estadísticamente que para el ´periodo 1961-2011, el régimen de precipitación intranual está cambiando, corriéndose el inicio del periodo de lluvias de mayo a julio.

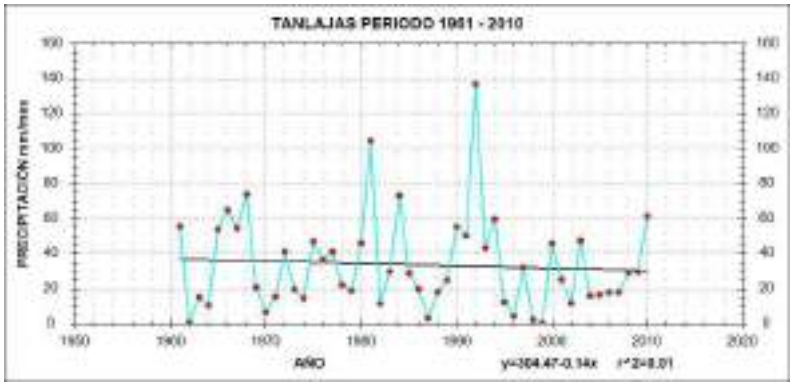


Fig. 6.37 Grafica de la precipitación mensual correspondiente al mes de enero para el periodo 1961-2011, en la estación 24005 "Tanlajas".

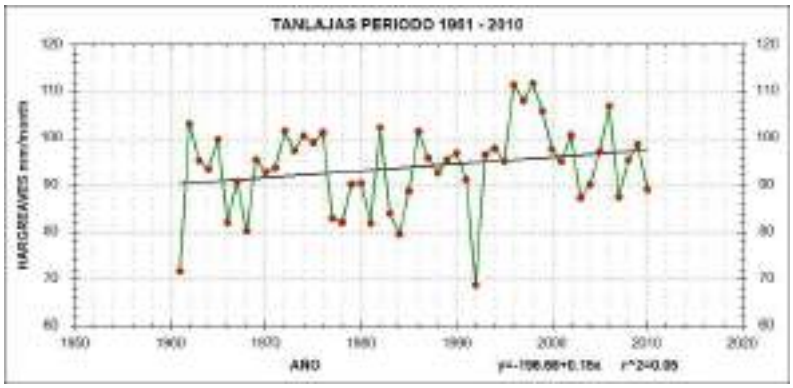


Fig. 6.38 Grafica de la evapotranspiración mensual correspondiente al mes de enero para el periodo 1961-2011, en la estación 24005 "Tanlajas".

7 Evaluación de la vulnerabilidad de los sectores estratégicos del estado de San Luis Potosí

Se realizó la evaluación de vulnerabilidad[1] de los sectores estratégicos del Estado.

Para el presente estudio, siguiendo a Roger Pielke (2011), se utilizó una "alternativa robusta" a los ECCGCM, basada en evaluaciones de vulnerabilidad que utilizan la respuesta histórica de los diferentes sistemas al Clima (modelos basados en las series de tiempo). La evaluación de la vulnerabilidad se basó en el paradigma de complejidad, un camino recomendable para avanzar en la comprensión de la influencia humana en el clima (Rial, et al, 2004).

A partir de estas evaluaciones fue posible construir modelos de corto plazo, con una resolución fina, útiles para construir estrategias de adaptación y mitigación a la escala de las unidades de exposición en la mayoría de las evaluaciones de impacto.

Las nuevas herramientas permitieron resolver algunos de los problemas de la perspectiva científica dominante. Actualmente, la evaluación de riesgos producidos por el cambio climático, es de arriba hacia abajo (top down), se enfoca en el uso de modelos multidecadales, globales del clima, que consideran respuestas cuasi-lineales dominadas por la concentración de GEI en la atmósfera. Los resultados de estos modelos son 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, *et al*, 2011).

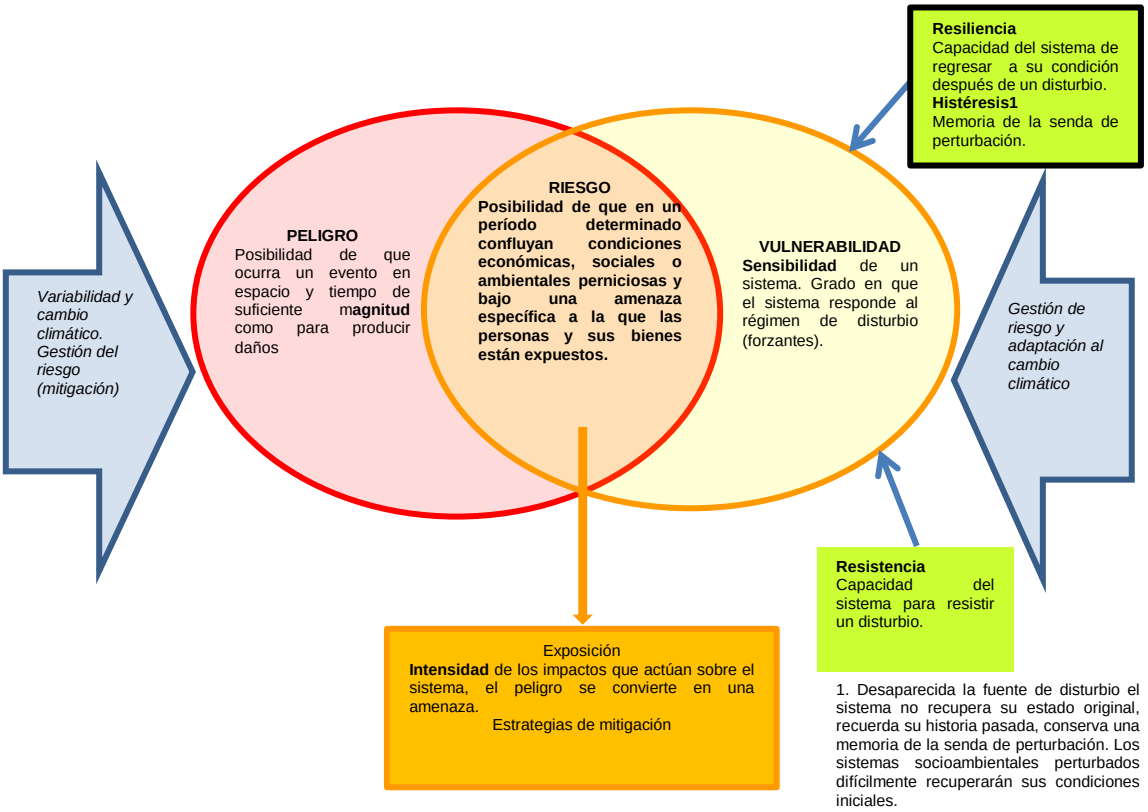
Sin embargo, el sistema climático es esencialmente no-lineal: las entradas y salidas no son proporcionales, el cambio es episódico y abrupto, antes que lento y gradual y los equilibrios múltiples son la norma. La comprensión sobre cómo se manifiestan en diferentes circunstancias las no-linealidades es pobre, y tampoco se entiende bien si ellas reflejan un sistema conducido por forzantes astronómicos, retroalimentaciones internas o una combinación de ambas.

Bajo el presente estado del conocimiento, no podemos incluir en los GCM: las erupciones volcánicas o los cambios de largo término en la radiación solar, posiblemente por esta razón, las predicciones multidecadales globales, son incapaces de simular algunos

[1] 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).

eventos principales de la circulación atmosférica como: la Oscilación Decadal del Pacifico, (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 (Roger A. Pielke, 2011: 6). Las proyecciones del PICC 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.

En el siguiente esquema se presenta el modelo utilizado para la evaluación de riesgo Peligro/amenaza y vulnerabilidad.



En particular, se concretaron los siguientes estudios:

Vulnerabilidad de los paisajes, ecosistemas, servicios ecológicos y agroecosistemas de San Luis Potosí a la variabilidad y al cambio climático.

Vulnerabilidad de los recursos hídricos de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático.

Vulnerabilidad de la salud de la población de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático.

Vulnerabilidad de los tecnoensambles (ciudades y su área de servidumbre ecológica) de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático.

Vulnerabilidad de las actividades económicas de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático.

7.1 Evaluación de la vulnerabilidad de los paisajes, ecosistemas, servicios ecológicos y agroecosistemas de San Luis Potosí a la variabilidad y al cambio climático.

La evaluación de vulnerabilidad de los paisajes, ecosistemas, servicios ecológicos y agroecosistemas de San Luis Potosí, a la variabilidad y al cambio climático, inició con la construcción de una base de datos de los desastres climáticos y meteorológicos para las últimas seis décadas, los desastres considerados fueron: sequías, heladas, granizadas, inundaciones fluviales y pluviales, nevadas, etc. Las bases de datos se construyeron a partir de una revisión documental, hemerográfica y bibliográfica; y fueron validadas con trabajo comunitario, un ejemplo de las hojas de datos se incluyen en los anexos.

El segundo paso fue identificar los elementos clave de la vulnerabilidad regional, (White & Hoogenboom, 2010) elaboraron un sumario de las variables ambientales conductoras y sus efectos ecofisiológicos sobre los productores primarios. De las variables consideradas se decidió considerar exclusivamente los elementos climáticos debido a que los efectos ecofisiológicos de la concentración de CO_2 no son claros. A partir de la Tabla 7.1 fue posible evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas, considerando el efecto de cronicidad de los impactos producidos por cambios a largo plazo, no necesariamente lineales. Principalmente sobre los procesos de sucesión ecológica.

El análisis de vulnerabilidad se basó en la Historia Ambiental reciente, se analizaron un limitado número de ejemplos de ecosistemas que han presentado cambios relacionados con las amenazas climáticas y que han sido examinadas con detalle. La mayoría de estos ecosistemas se encuentran sujetos a manejo.

Tabla 7.1 Efectos ambientales sobre la fisiología de las plantas (White & Hoogenboom, 2010).

Factor	Proceso	Modelación	Comentarios
Temperatura	Fenología	Completo	El aumento de la temperatura usualmente disminuye el tiempo para la floración y maduración, pero temperaturas muy altas retrasan el desarrollo.
	Fotosíntesis	Completo	El estrés por calor es pobremente comprendido y raramente es modelado en forma explícita.
	Respiración	Completo	Las tasas se incrementan con la temperatura.
	Desarrollo foliar	Parcial	Los modelos difieren mucho sobre como la temperatura afecta la expansión de las hojas y su engrosamiento.
	Crecimiento reproductivo	Parcial	El estrés por calor es pobremente comprendido y raramente es modelado en forma explícita.
	Elongación de las raíces	Completo	Las tasas se incrementan con la temperatura del suelo, pero las temperaturas del suelo son escasamente 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.
	Mineralización de la materia orgánica del suelo	Completo	Las tasas se incrementan con la temperatura del suelo.
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.

Factor	Proceso	Modelación	Comentarios
	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 son bien descritas por los modelos
	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
Viento	Evapotranspiración potencial.	Parcial	La pérdida potencial de agua se incrementa con el viento, como es exactamente predicho por la ecuación Penman-Monteith
Humedad relativa	Desarrollo foliar	No	Aún no es lo suficientemente comprendido como para ser modelado.
	Evapotranspiración potencial.	Parcial	La pérdida potencial de agua disminuye con la humedad relativa, como es exactamente predicho por la ecuación Penman-Monteith
	Transpiración	Parcial	Las respuestas directas de las plantas a la humedad, incluyendo las diferencias entre especies, son pobremente comprendidas.

Existe información específica sobre la influencia de los elementos del clima en algunos cultivos básicos. Por ejemplo, se conoce la influencia de los días luminosos alternados con noches frías en el aumento de la producción del maíz, el arroz y el trigo, lo contrario sucede con días nublados y noches calientes. La necesidad de horas de frio (vernalización) sobre las plantas criófilas (trigo, avena, cebada, papa, manzano, peral, durazno), los días y noches calientes bajan el rendimiento o incluso acaban con el cultivo.

La influencia del fotoperiodo y de la exposición a la luz y a la sombra, el café cultivado en la parte alta de SMO da mejores rendimientos cuando recibe entre el 25 y el 50% de la intensidad de luz total, lo mismo para el tabaco y las hojas de té (Campos Aranda, 2005). El caso de agua es muy interesante, la evapotranspiración potencial no es el máximo de agua que la vegetación o el cultivo pueden consumir, un exceso de agua favorece la producción de auxinas y disminuye el rendimiento, es la cantidad de agua necesaria para una producción primaria neta óptima (Campos Aranda, 2005). Por otro lado, los déficits de humedad determinan la productividad de los cultivos de secano en SLP. Un aspecto importante de la variación intra-estacional es el periodo de tiempo que los cultivos pasan arriba de umbrales críticos de temperatura. Para maíz, se piensa que temperaturas arriba de 30°C son perniciosas para el desarrollo y crecimiento del cultivo. Sería deseable contar con sistemas de monitorización que permitieran determinar horas arriba del umbral de calor o de frio, previo conocimiento de la biología de los cultivos.

Un indicador teórico que permitiría evaluar cuantitativamente el efecto de los elementos climáticos podría ser la *productividad potencial para producir órganos de cosecha*, la cual teóricamente podría alcanzar rendimientos máximos (considerando un rendimiento equivalente de 70-90 kg/ha/día y un índice de cosecha para el maíz de 0,4), de 11,7; 7,4; y 5,1 t/ha, considerando respectivamente estaciones de desarrollo de cultivos, con periodos libres de heladas de 365, 230 y 160. Con base en estos rendimientos teóricos es posible realizar una evaluación de riesgo mejor, desgraciadamente la información sobre las relaciones variables ambientales-rendimientos aún es escaza.

La Biología de las plantas ofrece una gran fuente de información que permitirá la construcción de modelos ecofisiológicos que permitan una mejor aproximación a los efectos de la variabilidad y el cambio climático. En particular, es deseable cuantificar los balances de energía en los sistemas socioambientales (ecosistemas, sistemas de producción agrícola, sistemas de producción pecuaria), los modelos funcionales requieren trazar los flujos y procesos de transformación de la energía y materiales en suelos, plantas y atmósfera (White & Hoogenboom, 2010). Aunque han sido criticados por porque introducen gran complejidad, un balance de energía y materiales permite hacer simulaciones más robustas, provee temperaturas de las plantas y los suelos más realistas; asegura que las transferencias de energía a través de la evaporación y transpiración sean incorporadas en forma realista.

En los últimos cuatro años el equipo responsable de la investigación realizó una investigación en 5 comunidades situadas en la SMO, para dilucidar el Metabolismo Social, entendido como el conjunto de procesos por medio de los cuales los habitantes de la comunidad, se *apropian, circulan, transforman, consumen y excretan*, materiales o energías provenientes del mundo natural. El modelo de metabolismo social describe y cuantifica los flujos de materia y energía que se deben intercambiar entre el grupo social particular y concreto y los ecosistemas, agroecosistemas y paisajes, que conforman su territorio y define también la condición estructural y funcional de los diferentes componentes del sistema. (Manuel González de Molina, Víctor M. Toledo, 2011).

Se determinaron los periodos de siembra y los calendarios agrícolas de los cultivos fundamentales del sistema milpa, las diferentes etapas del ciclo de cultivo, incluyendo los flujos de materiales y energía, se consideró la entrada energética derivada del trabajo humano por día y los días de labor (Pimentel y Pimentel, 1996). Se calculó el gasto global energético humano, y el correspondiente a la fabricación de herramientas y uso de semillas y agroquímicos. Por último, se determinó la productividad por ha; y la conversión, o *coeficiente económico* (como llamo Podolinsky a la eficiencia energética) (calorías obtenidas por caloría invertida) para un año con lluvias suficientes, Tx y Tn templadas, y ausencia de heladas y ciclones en el sistema de producción *Milpa*, que para la región (Pokchich, El May, Laguna del Mante, Sabino de Obispo) varia de 1 000 a 1 880 kg/ha de producción de maíz y entre 20 y 40:1 kilocalorías, considerando todos los alimentos y recursos obtenidos; los mismo cálculos, bajo las mismas condiciones, se realizaron para la agricultura industrializada de producción de caña de azúcar, realizada en Laguna del Mante, que tiene una producción de 80-90t/ha, con conversión promedio de 2,3:1 kcal (para caña variedad 55).

Con base en los cálculos anteriores fue posible realizar algunas determinaciones de perdida de la eficiencia de producción y en el coeficiente económico en años de escaza pp o muy calientes.

Adicionalmente el grupo de trabajo del PEACC registró, en sus trabajos de campo, diversos procesos que se han presentado en los últimos treinta años en la PCNO y en el barlovento de la SMO, las comunidades trabajadas fueron, La Trinidad, Xilitla; Laguna del Mante, Ciudad Valles; Sabino de Obispo, Ciudad Valles; Pokchich, San Antonio; El Fortín-El May, Tanlajás. En estas comunidades mediante un trabajo de alta resolución se observaron los siguientes fenómenos: disminución de la humedad en el suelo, en Laguna

del Mante; cambios en los ciclos de cultivo, principalmente en el inicio de periodo de siembra, por ejemplo, en el May y en Pokchich, anteriormente se sembraba a principios de mayo y ahora normalmente hasta mediados de junio; alteración de los procedimientos de producción agrícola; menor productividad del maíz blanco y chulo y su substitución paulatina con maíz amarillo, en la PCNO y el piedemonte de la SMO; alteraciones en la fenología de frutales (floración temprana); Cambios en el área de distribución de la yuca (*Manihot esculenta*), del banano manzano y del plátano macho *Musa x paradisiaca* L. (grupo AAB macho y grupo AAB Manzano); del café *Coffea arabica* L.; del tabaco, de la sandía y melón; lichi, y del pasto estrella,. Propagación excesiva de *Sabal mexicana* y otras pirófitas, que actualmente invaden los potreros. Variaciones en la producción primaria neta de acahuales, con el consiguiente aumento del periodo de recuperación de los suelos en descanso. Cambios en las variedades de maíz utilizadas en diferentes pisos altitudinales, por ejemplo en La Trinidad se abandona el maíz chulo *sietemesino* por un maíz *cincomesino y las tres variedades de chilacayote disminuyen en su productividad (Cucurbita ficifolia* (Bouché) Britton); en la misma Trinidad el bosque de pino y cedro desaparece por el ataque de los descortezadores, los incendios, y las Tn que son cada vez más altas, afectando la vernalización; en el piedemonte de la SMO los maíces amarillos precoces *tresmesinos* substituyen a maíces cuatromesinos de ciclo más largo; en El May y Pokchich se documentó la desaparición del desaparición del maíz sietemesino colmillo de caballo propio de climas más templados y húmedos.

Originalmente los fenómenos considerados en el párrafo anterior fueron asociados con la variaciones en la precipitación, lo que parecía una respuesta obvia, los campesinos de las comunidades aseguraban que la precipitación había disminuido en la Huasteca centro y había aumentado en la parte alta de la SMO, pero el porcentaje de estaciones donde se presentó una disminución estadísticamente significativa de la pp anual, para el periodo 1980-2010, fue de apenas un 7,9% para la SMO, mientras que en el 15,78% se observó un aumento; por otro lado, en la PCNO la pp disminuyó en menos del 10% de las EC.

Después de descartar la pp anual como la única variable conductora que provoca los cambios observados en la dinámica de los ecosistemas, se analizaron las variables sugeridas en la Tabla 6.1 y sus efectos.

La primera variable analizada fue Tx que aumentó en el 50% de las estaciones de la SMO y en el 62,5% en la PCNO, arrastrando a la ETPo (que se incrementó en el 47,36% de las estaciones de la SMO), con estos nuevos datos las observaciones empezaron a tener

sentido. Pero no fue sino hasta la realización de un análisis más fino cuando pudo finalmente armarse el rompecabezas. Se reconoce que las variaciones intra-estacionales pueden ser tan importantes como los valores promedio; o incluso más, durante las etapas críticas de floración el calor o la lluvia son más importantes que las condiciones promedio. En los últimos treinta años en la Huasteca están ocurriendo cambios clave en la variación mensual de la pp, la cual disminuyó en el 43,33% de las EC de la SMO y en el 60% de la PCNO para el mes de mayo, al considerar que este mes es el de mayor temperatura máxima y que en muchos sitios la Tx de mayo aumentó, resultó claro que, en gran parte del territorio estatal, muchas plantas silvestres y cultivadas enfrentan un estrés hídrico en aumento en el mes de mayo, que antes no se registró porque sólo se consideraron valores anuales.

Por otro lado, en diciembre disminuyó la pp en el 43,33% de las estaciones; este hecho tuvo y tiene grandes implicaciones, Rzedowski (1966: 39) observó desde mediados del siglo pasado que en todo San Luis Potosí llueve más en enero o en diciembre que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias. Este pico de lluvia invernal es de importancia extraordinaria ya que sobreviene en la época más seca del año, tanto las formaciones vegetales como el segundo ciclo de cultivo de la milpa dependen de este aumento en la pp, por otro lado, la humedad que aporta influye en el comportamiento de las heladas, disminuyendo su ocurrencia; por estas razones la disminución del pico invernal es especialmente deletéreo desde el punto de vista ecológico.

Un elemento adicional de consideración es el aumento de las noches cálidas (Mapa 7.1), en una parte importante de SMO y PCNO, mientras que en otra porción del territorio de la Huasteca las noches cálidas disminuyen. Las noches cálidas favorecen la producción de auxinas, que provocan la reducción de la producción de granos, frutos y raíces. En zonas con noches cálidas, el maíz, el arroz y el trigo, crecen altos pero producen poco grano. Por eso los rendimientos son mejores en seca con noches frescas, siempre y cuando haya agua disponible (Campos Aranda, 2005). Entonces el aumento de las noches cálidas posiblemente provoca en el centro de la SMO la disminución de la productividad, mientras en la PO la disminución de las Tn provoca posiblemente el aumento de las heladas.

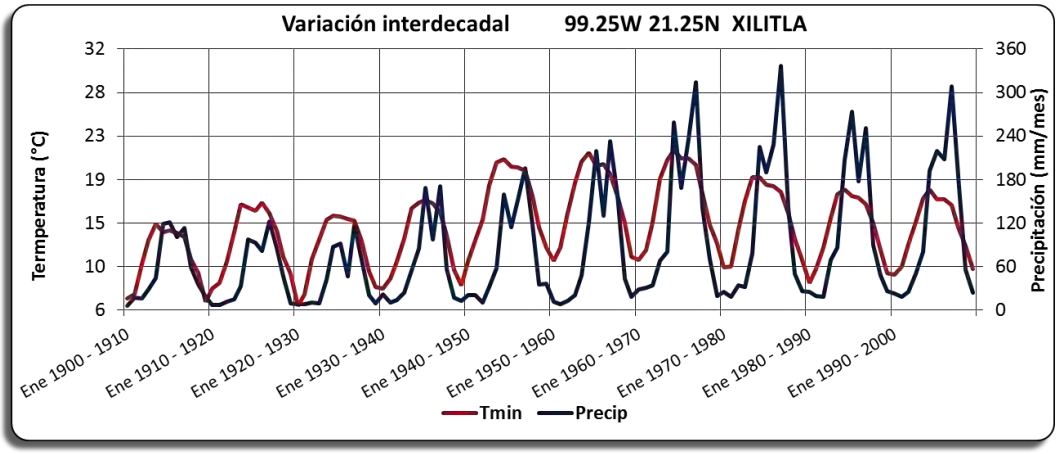
Ya se ha señalado que las temperaturas arriba de 30°C son perniciosas para el desarrollo y crecimiento del maíz, de las variedades producidas en la Huasteca el maíz amarillo es el

más resistente a esta variable, sin embargo, se ha observado, que la exposición prolongada a temperaturas superiores a los 35°C afecta su rendimiento. 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 la Huasteca tiene mucho más sentido), el índice se cartografió Mapa 7.2. Para identificar las áreas donde el maíz amarillo podría sufrir una merma en su producción.

Aquí se debe aclarar que cuando las respuestas a la temperatura son analizadas en el mundo real pueden ser sorprendentemente complejas.; White y Hoogenboom (2010) evaluaron el impacto del incremento de la temperatura en la producción de sorgo en Arizona, se examinó la respuesta base de hibridos diferentes a la fecha de siembra usando datos historicos y con modelos utilizando un incremento simple de +1,5 ^{o}C para temperaturas diurnas y +3,0 ^{o}C para las nocturnas. Para ambos regimenes de temperatura, el hibrido Cargill 877 responde alrededor de 20 días más tarde que el Cargill 577 para siembras de abril a agosto, despues de agosto las diferencias se incrementan por efecto de las bajas temperaturas. El regimen de mayor temperatura acelera el desarrollo provocando floración temprana, aunque la diferencia es de menos de cinco días para siembras de abril a agosto. La respuesta de la producción de grano es más compleja. Las producciones son similares para ambos hibridos y regimenes climaticos con siembras realizadas a mediados de febrero; pero las realizadas a principios de junio, según el modelo, reducen su producción cerca de 500 kg/ha. El efecto del aumento en la temperatura, en cambio, produce un efecto positivo aumentando la producción a partir de agosto, debido a que el aumento de la temperatura extiende la estación de crecimiento.

Los alisios de verano sobre la zona de la Huasteca parecen debilitarse ligeramente lo que podría explicar la disminución en la humedad que llega del Golfo de México hacia esta zona del este de SLP. Sin embargo, los alisios sobre la zona centro oeste del estado se han incrementado, lo que podría significar que la entrada de humedad al altiplano potosino está creciendo, pero la ETPo aumenta por el efecto del viento, lo que explicaría en aumento en el índice de aridez en varias partes del Altiplano. Será necesario analizar en qué medida la convergencia o divergencia de humedad ha cambiado regionalmente para establecer si la explicación a los cambios en la humedad específica está en cambios en los patrones de circulación regional, y estos a su vez en cambios en los usos del suelo. Sin embargo se han registrado variaciones en el HUI de distribución heterogénea. El aumento de la humedad en un sitio no es necesariamente positivo, en la Trinidad se ha

registrado un aumento en la precipitación y en la humedad que ha provocado un incrementó en la Tn la correlación es R^2 = 0.6045 que es alta para este tipo de fenómenos, observar la Fig. 7.1



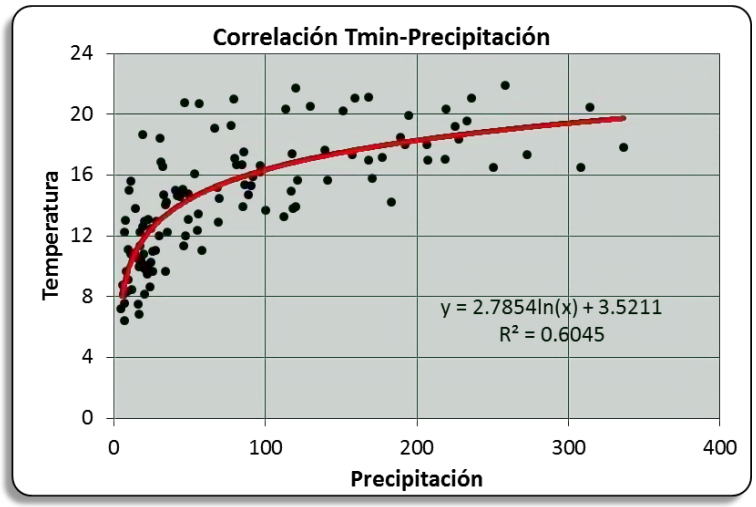
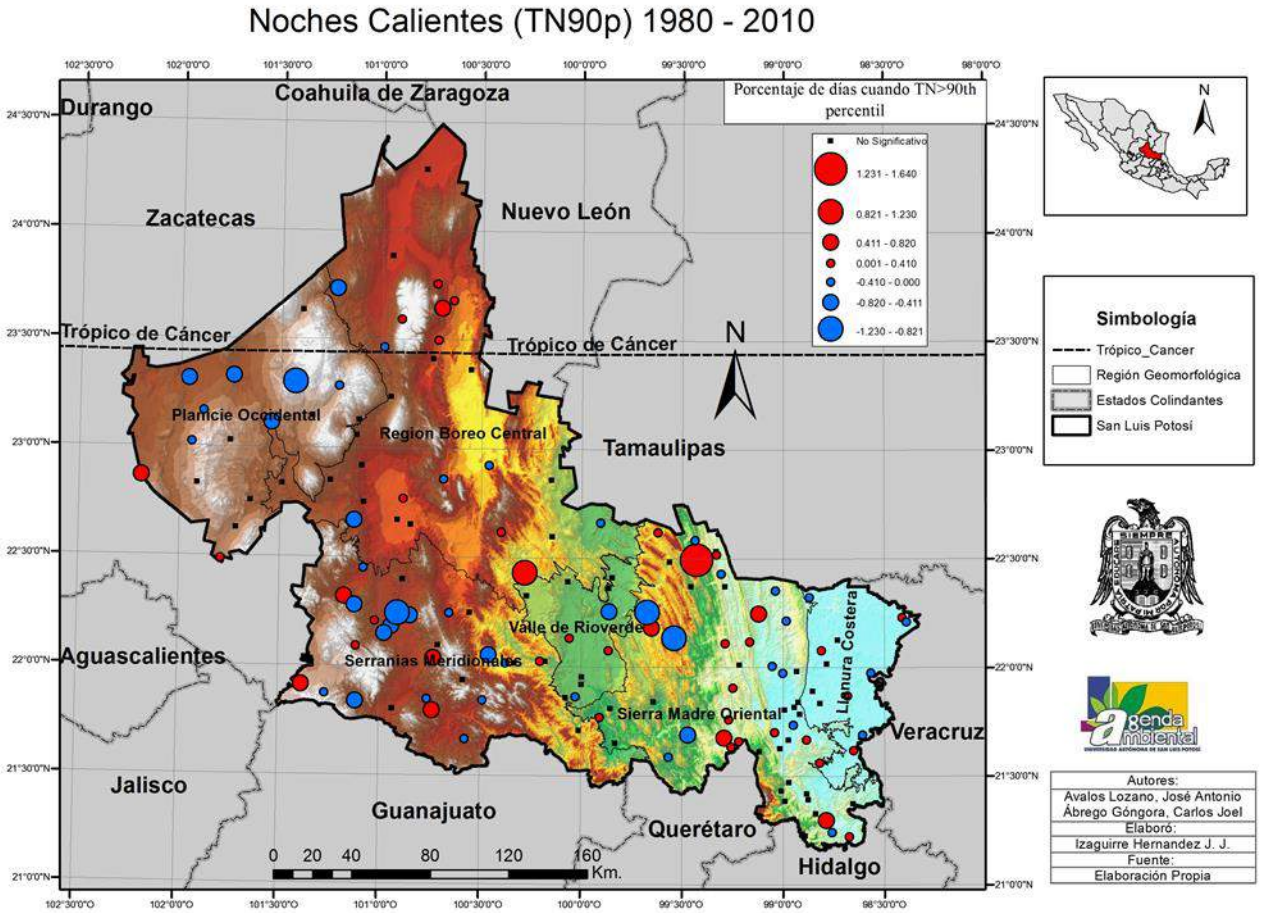


Fig. 7.1 Regresión estadísticamente significativa entre Tn y pp para Xilitla.

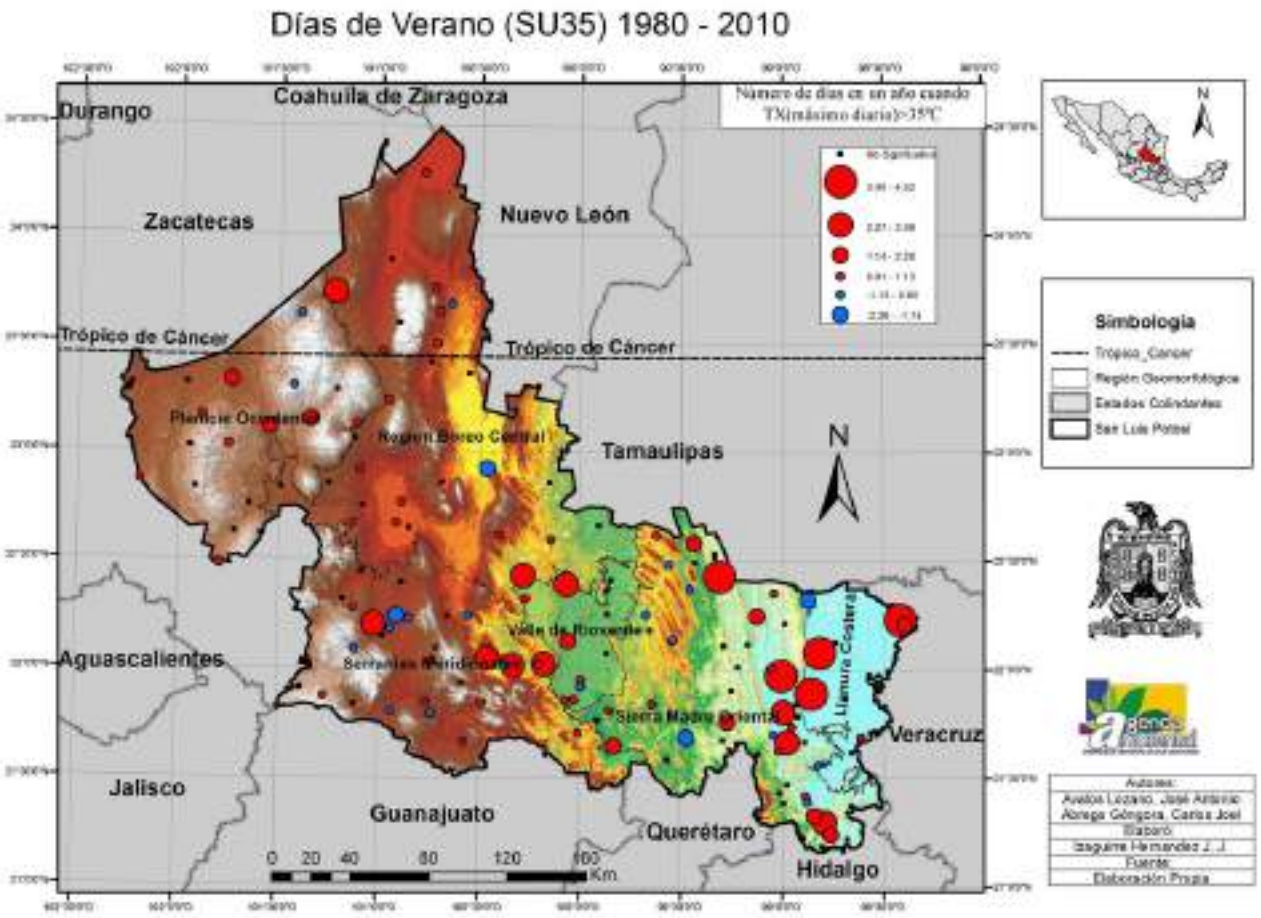
El aumentó en la Tn ha provocado el aumento en la infestación de pinos con descortezadores del genero *Dendroctonus sp.*, y los árboles muertos favorecen los incendios. Actualmente todos los hombres de la comunidad trabajan en los programas de empleo temporal de la CONANP, en las brigadas de cómbate contra incendios y sanidad vegetal y aun así no pueden controlar estos problemas. Es posible que lo que estemos observando sea un proceso de sucesión.

La importancia del aumento de la Tx y la ETPo se puede apreciar mejor al conocer la tendencia de aumento, en las diferentes regiones, del índice de aridez o ARi (índice anual calculado en función del número de meses en los que la ETPo Hargreaves excede a la

pp). El Ari aumentó 80% en la BC, 75% en la PCNO; 54% en la PO; y más de 40% en las restantes. En estos sitios se han documentado procesos de sucesión posiblemente asociados a la aridización, por ejemplo, en la PCNO, la substitución de la selva baja caducifolia por pastizales, de los pastizales por palmares de *Sabal mexicana* (una verdadera plaga en los potreros de la Huasteca); y en la BC, se ha documentado la substitución de pastizales por matorrales rosetófilos y micrófitos. En la Sierra de Catorce en la BC los autores han observado: la propagación excesiva de madroño de Texas (plantas pirófitas) que invade los encinares, infestación de los pinos y encinos por paxtle y los muérdagos; alteraciones en la fenología de frutales, por ejemplo, floración temprana aguacates en Los Catorcitos, Catorce, en el sotavento de la Sierra de Catorce. En el Valle de San Cristóbal, se registraron cambios en el área de distribución del matorral micrófito, cambios en los ciclos de cultivo (inicio de periodo de siembra) y desaparición de las variedades criollas utilizadas en el Valle de San Cristóbal.



Mapa 7.1 Índice de noches cálidas (porcentaje de días cuando Tn > que el percentil 90



Mapa 7.2 Índice SU35 (número de días/año cuando Tx > 35°C

Sampaio, Nobre, Costa, Satyamurty, Soares-Filho, & Cardoso (2007), escriben que observaciones de campo y estudios revelan que la deforestación en gran escala en la Amazonia podría alterar el clima regional significativamente, produciendo un nuevo regimen climatico, post-deforestación, caliente y un poco más seco.

En el caso de San Luis Potosí se realizaron diversas correlaciones no-paramétricas Spearman entre los índices de cambio climático CLIMDEX basados en datos diarios de 69 estaciones climáticas (en las que los índices eran estadísticamente significativos) y las tendencias de cambio en la cobertura vegetal y en la superficie ocupada por humedales en las áreas de influencia de las EC (círculos de 10 km de radio con la estación como centro) a escala 1:10 000. Los resultados fueron:

Tabla 7.2 Correlación Spearman entre pp total y cobertura; y SU35 y cobertura.

Correlación	N valida	R Spearman	T (N-2)	Valor p	Significancia
Pp total & Agua	59	-0.323927	-2.58497	0.012322	Significativo
Pp total & Cobertura	69	0.578280	5.80191	0.000000	Altamente significativo
Pp total & No-cobertura	69	-0.426589	-3.86069	0.000257	Altamente significativo
SU35 & Cobertura	69	-0.248485	-2.09980	0.039515	Significativo
SU35 & No-cobertura	69	0.284926	2.43307	0.017647	Significativo

Se encontró una correlación Spearman positiva altamente significativa entre la cobertura vegetal y la precipitación total

Se encontró una correlación Spearman negativa significativa estadísticamente entre cobertura vegetal y días al año con Tx mayores a 35°C.

Estos resultados coinciden con los de Sampaio *et al*., y con las observaciones de campo realizadas en las 69 estaciones.

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 [GEI][2].

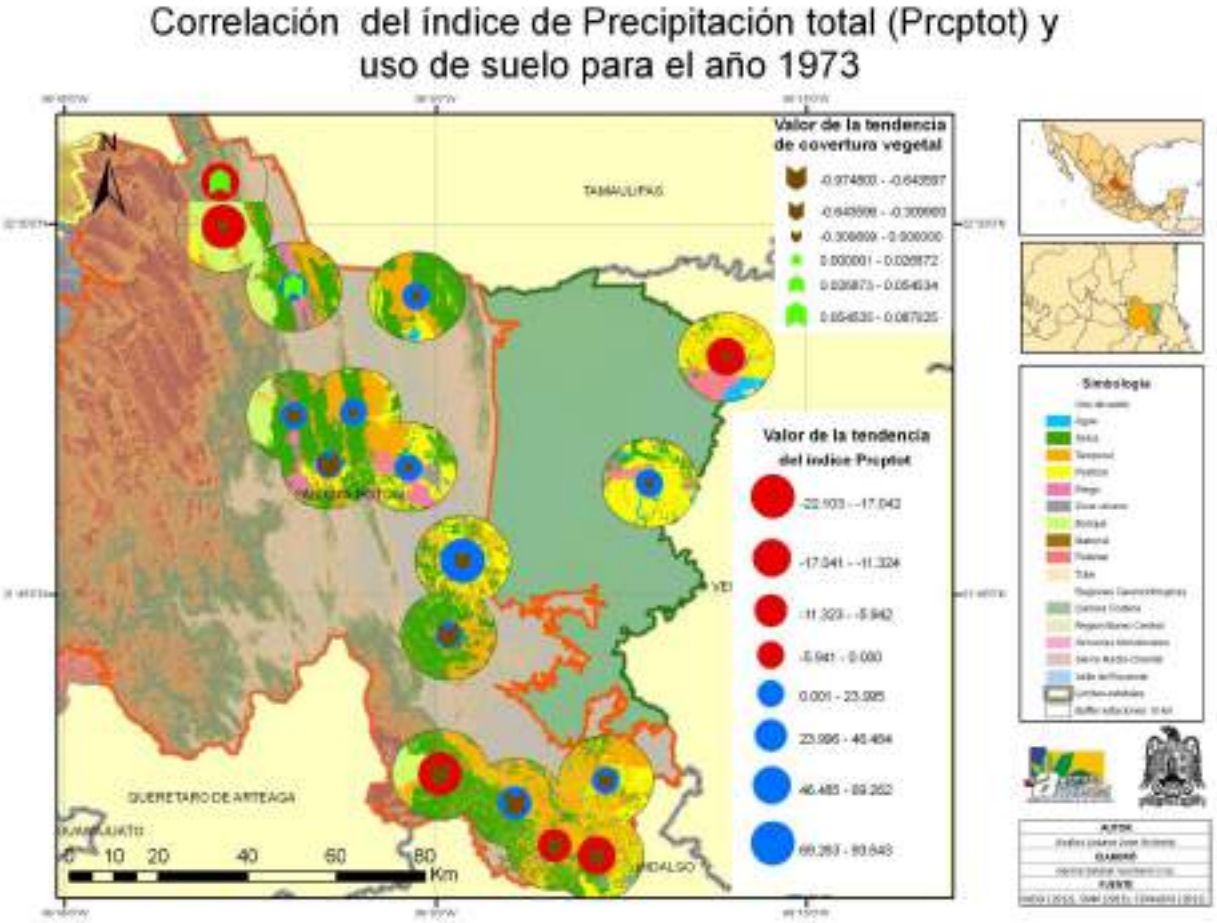
El presente trabajo aporta información que permite vincular ciertos procesos de cambio en la cobertura vegetal con cambios en las tendencias del clima a nivel local. Para

[2] Los corchetes indican concentración.

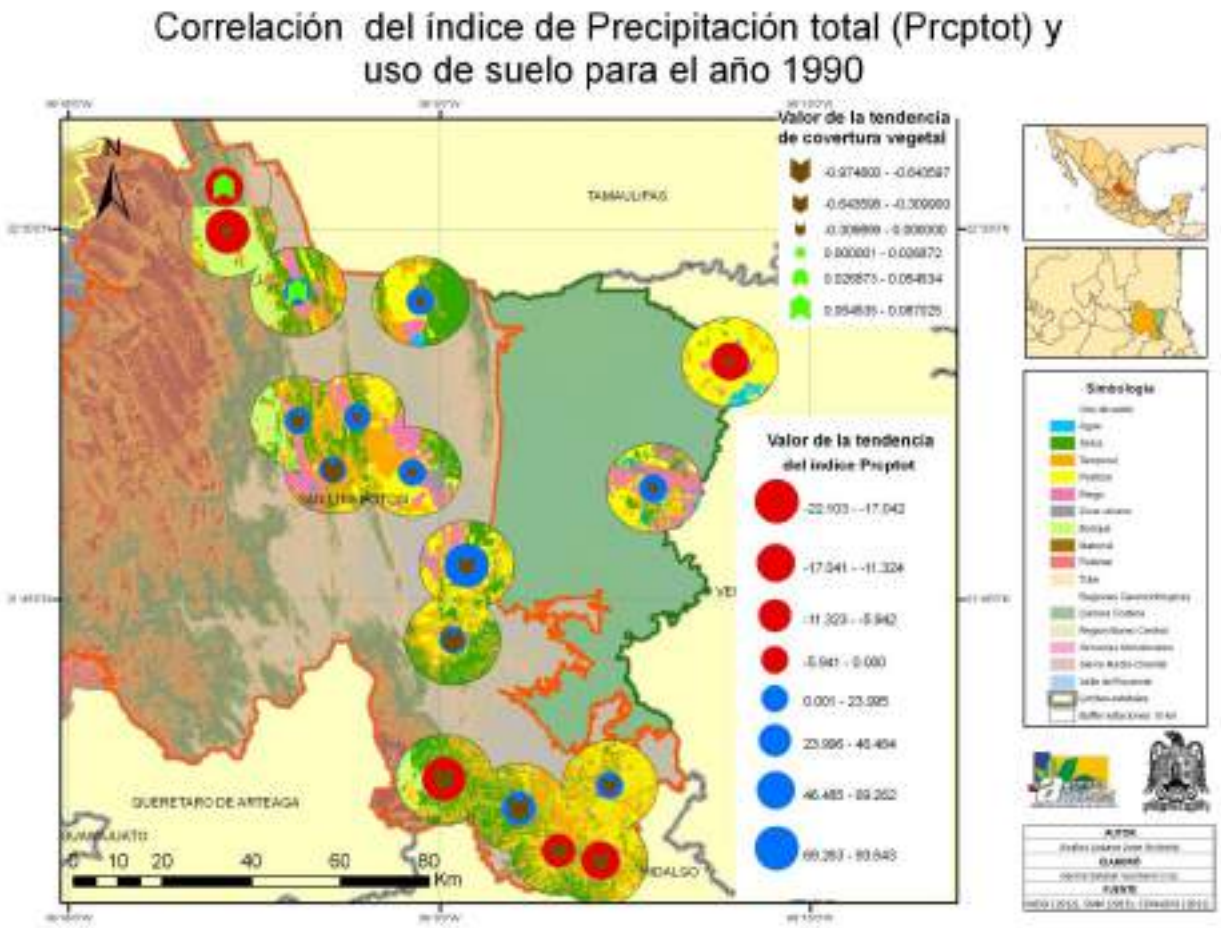
analizar estos procesos se determinó, en primer término, la dinámica del cambio de uso de la tierra y la variación de la cobertura vegetal en el Estado. Primero se hizo un estudio de los cambios en los usos de la tierra y en la vegetación a tres escalas. Para la primera se utilizó la información disponible por el INEGI sobre los cambios en la vegetación de 1976 al 2010. Para esto se utilizaron la serie I, 1976-1980; la serie II, 1992; la serie III, 2000; la serie IV, 2005; y la serie V, 2010. Con esta información se trabajó todo el territorio estatal, dividido en seis regiones geomorfológicas.

Para la segunda escala se elaboraron capas de uso de suelo y vegetación para las fechas de 1973, 1990 y 2010 a una escala 1:50 000. Con estas capas se analizaron los cambios para las distintas regiones. Utilizando como centro las 69 estaciones se trazó un radio de 10 km a partir del cual se construyó un círculo concéntrico a las EC con un área de 314, 16 km^2. Posteriormente se determinó la tendencia de cambio en la cobertura vegetal y esta se correlacionó con las tendencias de cambio significativas para dififerentes índices climáticos.

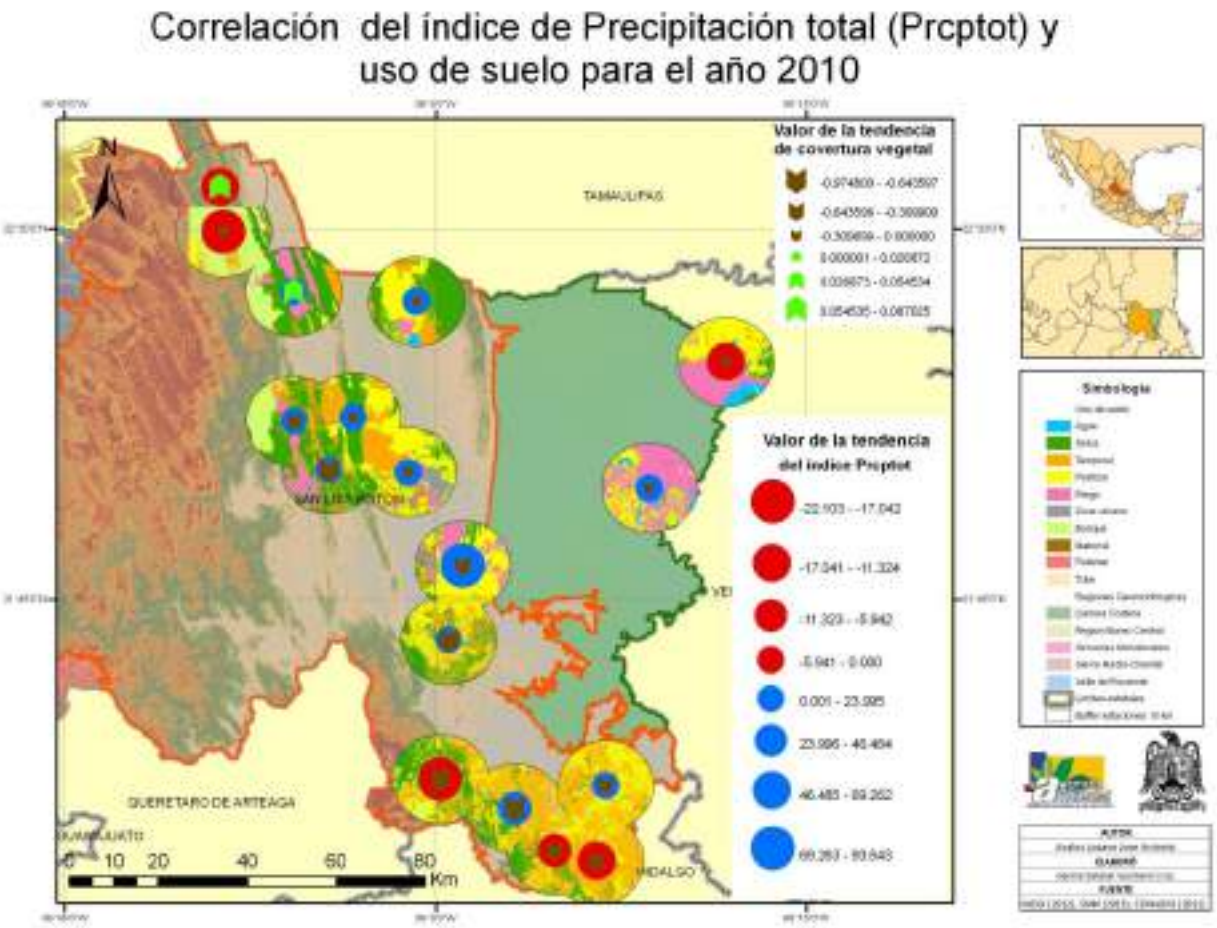
Se trabajó adicionalmente a una escala de alta resolución 1:5 000 para identificar los cambios en los usos de la tierra y la cobertura vegetal en 20 localidades, en 5 de las cuales se identificó el metabolismo social, aunque a largo plazo.



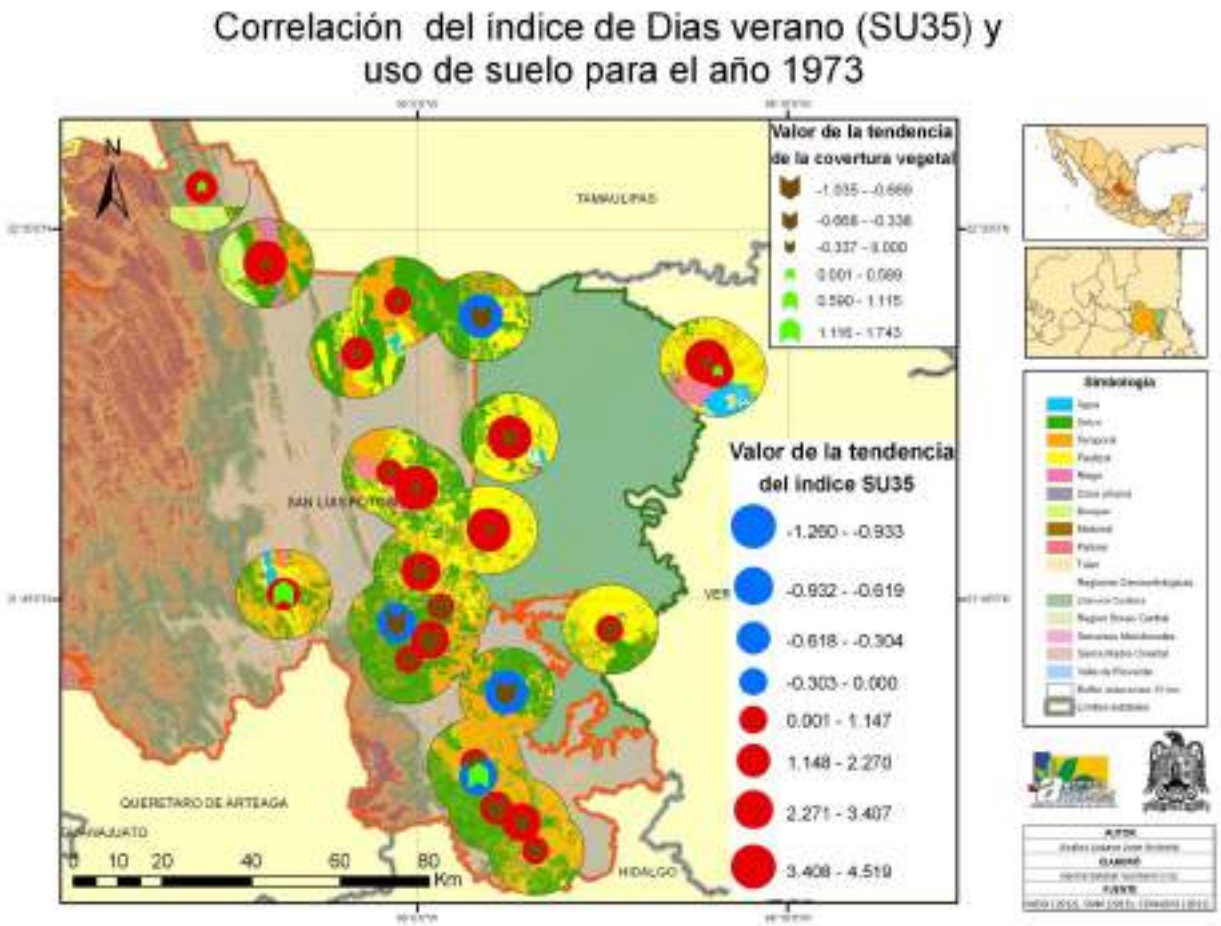
Mapa 7.3.A Correlación pp total y CUS 1970-2010 (Cobertura 1973)



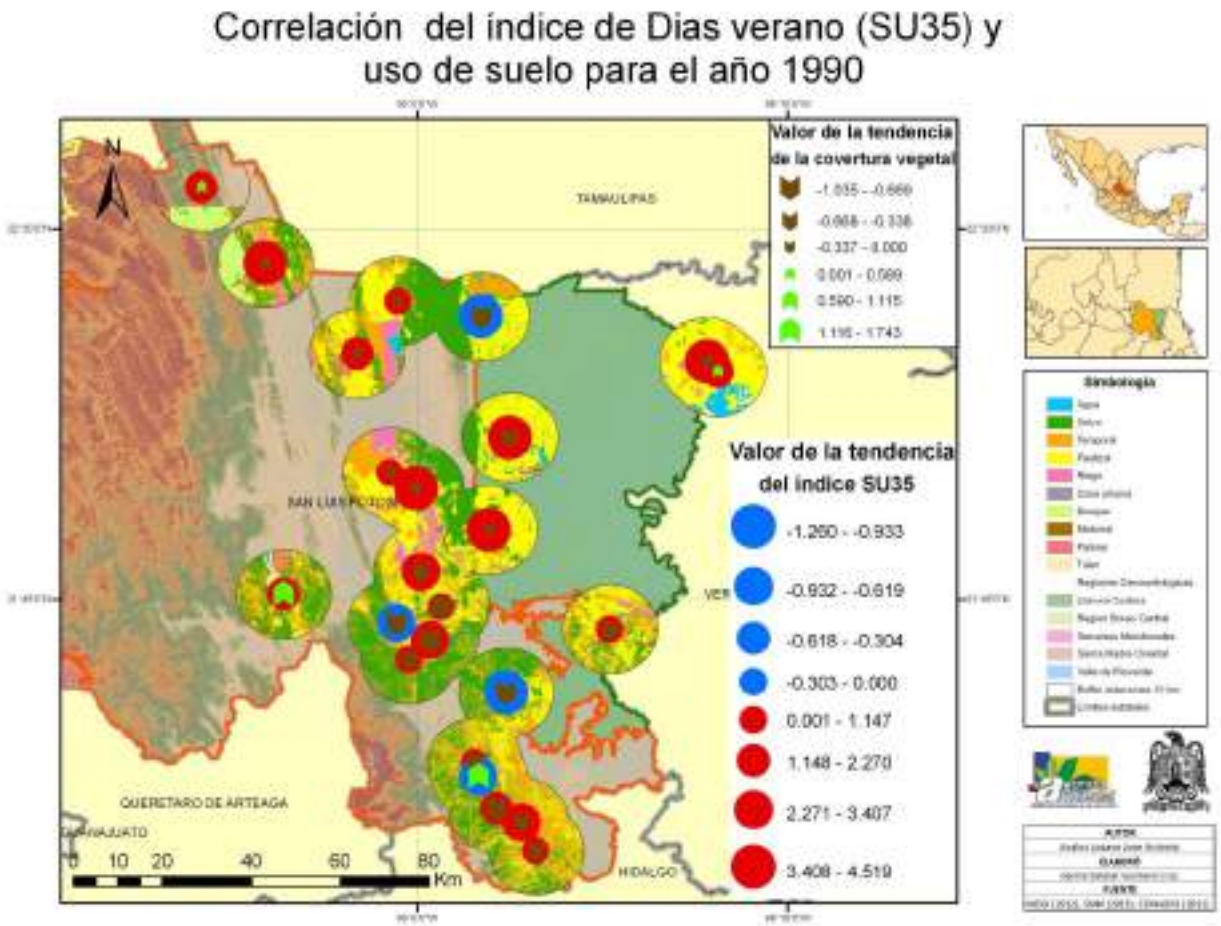
Mapa 7.3.B Correlación pp total y CUS 1970-2010 (Cobertura 1990)



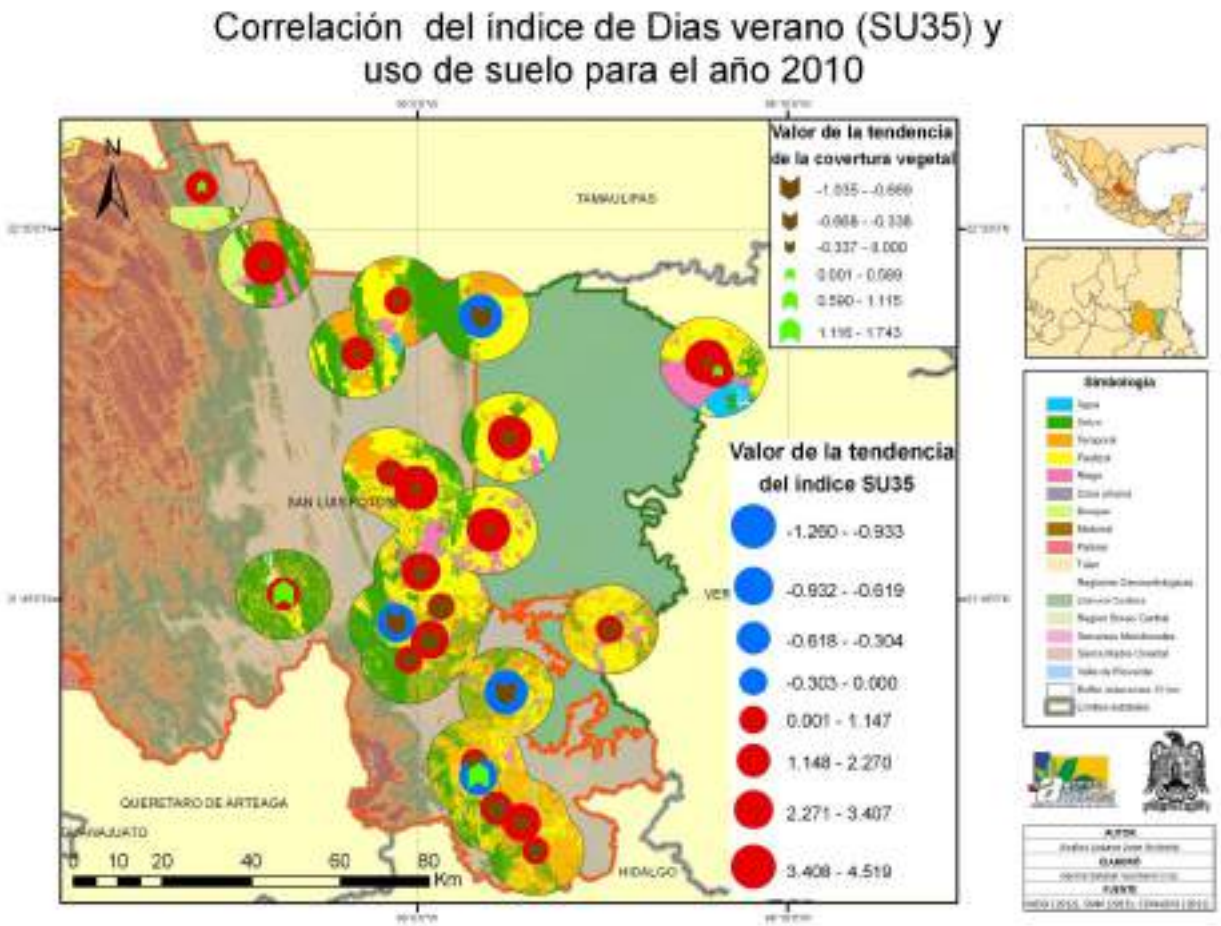
Mapa 7.3.C Correlación pp total y CUS 1970-2010 (Cobertura 2010)



Mapa 7.4.A Correlación índice SU35 y CUS 1970-2010 (cobertura 1973)



Mapa 7.4.B Correlación índice SU35 y CUS 1970-2010 (cobertura 1990)



Mapa 7.4.C Correlación índice SU35 y CUS 1970-2010 (cobertura 2010)

A los problemas relacionados con el cambio y la variabilidad climática, se unen otras variables conductoras que afectan la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales y que fueron incorporados a los ECCST.

Con la incorporación de la información de evaluación de las **UGAC** generada en la evaluación y considerando adicionalmente los regímenes de disturbio provocados por las actividades de los diferentes sectores económicos y mediante la aplicación de modelación de ecuaciones estructurales. Se identificaron, las variables relevantes a escala 1:250 000 y 1:50 000 que son de mayor peso en el régimen de disturbio:

1.- Cambio de uso de la tierra: en San Luis Potosí se ha presentado una modificación extraordinaria en los cambios en el uso de la tierra. Entre 1976 y 2000 el 38,45% de la circunscripción territorial del estado ha cambiado su uso del suelo, en el mismo periodo, la superficie utilizada para la agricultura se ha incrementado en un 72,5%, eliminando la cobertura vegetal de 886 836,58 ha.

2.- Degradación del suelo: el 39% de la superficie estatal presente erosión alta y muy alta, lo que provoca anomalías en la humedad del suelo.

3.- El índice de sobrepastoreo calculado para el año 2000 es superior a 1 en el 90% del territorio, es decir la carga animal es superior a la capacidad de soporte, en algunos casos la relación es de 25.

El régimen de disturbio ha provocado, en todo el estado, simultáneamente el aumento del albedo y la alteración de los ciclos hidrológicos; no menos importante resulta que

4.- A escala estatal los indicadores económico-sociales de San Luis Potosí muestran que el estado enfrenta una situación peor que la del promedio nacional. Considerando los resultados del Informe de Pobreza Multidimensional en México, 2008, del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2010): en el año 2008 el 55,1 % de la población estatal era pobre multidimensional, lo que significa que 1,26 millones de potosinos tenían por lo menos una carencia social y un ingreso insuficiente para adquirir el conjunto de bienes alimentarios y no alimentarios considerados básicos. En ese mismo año, el 32,0 % de la población, es decir 790 mil personas, eran vulnerables por carencias sociales ya que presentaban por lo menos una carencia en la dimensión de los derechos sociales aunque su ingreso resultara superior a la LBE, mientras que el 6,1 % de la población es vulnerable por ingreso (150 mil personas), es decir, aunque no presentan carencias sociales su ingreso es insuficiente

para adquirir la canasta completa (alimentaria y no alimentaria). Lo anterior significa que el 83,1% de la población, 2,05 millones de personas en San Luis Potosí son pobres o vulnerables por carencia en la satisfacción de sus derechos sociales o por su ingreso social (CONEVAL, 2010). Lo más preocupante es que en el año 2008 el 15,2% de la población de San Luis Potosí (380 mil personas), presentaban una condición de pobreza extrema es decir, con al menos tres de las seis carencias sociales[1] y un ingreso tan bajo que, aun dedicándolo por completo a la compra de la canasta alimentaria, no podría adquirirla). El estado de San Luis Potosí presenta condiciones de pobreza más extremas que las nacionales, el tamaño de los retos es por consiguiente mayor.

Tabla 7.3 Pobreza multidimensional, dimensiones e indicadores asociados San Luis Potosí, México, 2008

Indicadores de pobreza, dimensiones e indicadores asociados	**Porcentaje**	**Millones de personas**
Pobreza multidimensional en San Luis Potosí, México		
Población estatal en situación de pobreza multidimensional	**51,1**	**1,26**
Población estatal en situación de pobreza multidimensional moderada	35,9	0,89
Población estatal en situación de pobreza multidimensional extrema	15,2	0,38
Población en situación de vulnerabilidad		
Población estatal vulnerable por carencias sociales o por ingresos	**32,0**	**0,79**
Población estatal vulnerable por carencias sociales	25,9	0,64
Población estatal vulnerable por ingresos	6,1	0,15
Población nacional no pobre ni vulnerable		
Población estatal no pobre y no vulnerable	**16,9**	**0, 42**

[1] Indicadores de carencias sociales: rezago educativo; acceso a los servicios de salud; acceso a la seguridad social; calidad y espacios de la vivienda; acceso a los servicios básicos en la vivienda; acceso a la alimentación.

Analizadas y determinadas las variables conductoras el tercer paso fue la construcción de escenarios climáticos de corto plazo (25 años) para los paisajes, ecosistemas, servicios ecológicos y agroecosistemas, para realizar la evaluación prospectiva de los impactos producidos por la variabilidad y el cambio climático.

Los ECCST se construyeron utilizando las tendencias de datos climáticos y su relación con fenómenos: físicos, biológicos, económicos y sociales; además de la vulnerabilidad de los diferentes sistemas socioambientales.

Considerando que los ECC de corto plazo (2010-2040), basados en los GCM, indican aumentos en temperatura de 0,75 a 1,00 ^{o}C y coinciden con las tendencias obtenidas, se construyeron escenarios basados en series de tiempo con proyecciones para los próximos 20-30 años. Estos modelos son extremadamente útiles en el corto plazo, cuando clima no es muy diferente de las condiciones actuales y las adaptaciones a los cambios en la distribución de frecuencias de datos son pequeñas. Más allá de este plazo, la extrapolación hacia el futuro de las relaciones entre variables observadas en el pasado pierde sentido, debido a los problemas de los modelos estadísticos como: la extrapolación del modelo más allá de los datos del rango de calibración; la suposición de estacionalidad, es decir la consideración de que – las relaciones entre variables observadas en el pasado también aplican en el futuro –; y finalmente el uso de modelos basados en las respuestas a variaciones de un año a otro del tiempo que son utilizados para predecir respuestas a cambios graduales en el clima (Lobell, 2010, págs. 95-97), este último error provoca que los modelos normales de series de tiempo no incluyan la adaptación, por esta razón, se analizaron las variaciones en el régimen de aridez (que son cambios climáticos graduales), los impactos que estos cambios tienen en la dinámica de los sistemas socioambientales y las adaptaciones a estos cambios. Los escenarios se basaron en las relaciones observadas entre las formaciones vegetales, los sistemas de producción agrícola y el régimen de aridez, en sitios específicos, en las últimas tres décadas, esta aproximación desde lo local permite considerar, indirectamente, la variabilidad en los suelos, sistemas de riego, semillas y técnicas y cambios en los usos de la tierra.

Para la construcción de los escenarios de cambio de corto plazo se utilizaron las EC en las que se detectó un cambio significativo estadísticamente del Ari, por la gran influencia que los procesos de aridez tienen en los ecosistemas y agroecosistemas. Los resultados son los siguientes:

En el 40% de las Ec el cambio de régimen de aridez se espera entre 0-10 años. En el 26,6% el cambio de régimen de aridez se espera entre 10-20 años. En el 6,6% el cambio de régimen de aridez se espera entre 20-30 años. En el 26,6% el cambio de régimen de aridez se espera en X> 40 años.

Asociado a los cambios de aridez encontramos cambios en la dinámica de los organismos de importancia fitosanitaria que analizaremos a continuación.

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 economica: la mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* (Loew), la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) y la langosta *Schistocerca picieifrons* (Walker 1870). En la actualidad ignoramos cuales van a ser 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 ECCST.

El Estado se divide en tres zonas agroclimáticas con características distintivas que inciden sobre las actividades productivas.

La región árida y semiárida, que comprende las subregiones Bóreo Central y Planicie Occidental, en la parte norte y oeste del Estado, incluye una superficie de 4 113 000 ha. Abarca la zona semiárida y árida.

La semiárida se caracteriza por el clima seco semiárido y precipitaciones de 320 a 676 mm. La vegetación se compone de pastizales amacollados y halófitos, asociados con mezquites y huizaches; arbustedas de matorral crasicaule; bosque caducifolio espinoso. La fisiografía son valles, llanuras, lomeríos y sierras con pendientes que van de 0 a 40%. Los suelos dominantes son xerosoles en los planos y litosoles en las sierras, la textura es media a fina, de profundidad somera a profunda. Su aprovechamiento es ganadero, agrícola de riego y temporal riesgoso.

En la zona árida los climas son: secos semicálido y semicálido templado, con porcentaje invernal de lluvia mayor a 18%, temperatura media anual de 14.9 a 17.2 °C, y una precipitación pluvial de 288.1 a 317.9 mm. La vegetación es matorral micrófito y

pastizales halófitos. La fisiografía es de llanuras, sierras, con pendientes de 0 a 45%. Los suelos predominantes son: xerosol cálcico y háplico, litosol y zolonchak órtico, en menor grado se tiene regosol calcárico; la textura predominante es media y fina, con una profundidad que varía de somera en las serranías a profunda en los bajíos. Su aprovechamiento es ganadero, principalmente con pastoreo de caprinos y en pequeña escala agricultura de riego, la agricultura de temporal se realiza con el aprovechamiento de abanicos aluviales donde se captan escurrimientos de lluvia. Esta zona cuenta con una superficie de 703 000 ha.

La Región templada. Se encuentra en la Llanura de Rioverde y Serranías Meridionales, ocupando una superficie de 531 550 ha. Se caracteriza por tener climas templados subhúmedos con lluvias en verano, semiseco templado, semifrío subhúmedo con lluvias en verano y templado semicálido con precipitaciones que van de 416 a 2 964 mm y temperaturas de 16 a 22 °C, ocasionalmente ocurren heladas y granizadas al inicio de la temporada de lluvias. La vegetación es bosque de pino, encino, y liquidámbar. La fisiografía son sierras con pendientes mayores a 20%. Los suelos predominantes son litosoles, rendzinas y regosoles de profundidad media y somera, con textura media fina. Su potencial es fundamentalmente forestal.

La Región tropical. Comprende las regiones Sierra Madre Oriental y Planicie Costera Nor-Oriental (Región Huasteca), cuenta con un territorio de 10 676,5 km^2 con extensas planicies muy fértiles. Se ubican dos regiones: trópico húmedo y trópico seco. El primero tiene una superficie de 301 250 ha, lo caracteriza un clima semicálido húmedo con lluvias en verano y todo el año, la precipitaciones es de 1 200 a 2 964 mm y la temperatura de 22 a 24,9°C.

El tipo de vegetación predominante en el trópico húmedo es selva alta, selva mediana subperennifolia, bosque de niebla y bosques de encinos y pinos. La fisiografía es de sierras y valles con pendientes suaves de 0 a 5% y en las serranías mayores de 20%; los suelos predominantes son vertisoles, regosoles, histosoles y luvisoles con profundidad de media a profunda y textura media a fina. Su aprovechamiento es ganadero y agrícola de temporal.

El trópico seco se caracteriza por climas cálidos húmedos y semicálidos templados, con precipitaciones de 985 a 1 242 mm y temperaturas medias de 22,8 a 25 °C, los tipos de vegetación son pastizales inducidos, palmar, selva mediana caducifolia, baja caducifolia y bosque espinoso. La fisiografía es de llanuras, valles, lomeríos y sierras con pendiente

ligera y en menor grado mayor de 40%. Los suelos que predominan son vertisol, rendzina, regosoles y en menor grado litosoles, la textura varía de media a fina, de profundidad media a profunda, su aprovechamiento es ganadero y agrícola; tiene una superficie de 636 000 ha.

Estas condiciones agroecológicas dan origen a la diversidad agropecuaria estatal. Se producen 66 cultivos, entre los que destacan por el área destinada a ellos, maíz, frijol, caña de azúcar, pastos y praderas, naranja, sorgo, café cereza, chile y avena, que representan 90,41% de la superficie sembrada en la entidad. Los de mayor importancia económica son: caña de azúcar, jitomate, chile, pastos y praderas, naranja, alfalfa, maíz, frijol, elote, sorgo, cebolla y cebada, que representan 91,08% del valor de la producción total en la entidad.

Por región agroecológica, son importantes en la SMO y PCNO: caña, café, naranja, limón, mango, mandarina y pastos; en la zona Media: naranja, maíz, jitomate, chile verde, sorgo grano y cacahuate; y en el Altiplano: fríjol, maguey, maíz, tuna, chile alfalfa, cebada, jitomate, chile seco y hortalizas.

Los problemas fitosanitarios que afectan la actividad agrícola de San Luis Potosí se manejan en forma particular por los productores afectados, pero existen casos en los que, por la importancia socioeconómica de los cultivos, se establecen campañas de contingencia fitosanitaria. Las más importantes en los últimos años son: Moscas Nativas la Fruta, Broca del Café, Langosta y Virus Tristeza de los Cítricos. Se tiene además la de Manejo Fitosanitario de Hortalizas y Palomilla del Nopal. Moscas Exóticas es una campaña que operó originalmente dentro de Moscas Nativas pero en la actualidad es independiente. Adicional a estas campañas existen en el Estado recursos para contingencias fitosanitarias, y en los dos últimos años para un programa de inocuidad agroalimentaria.

Las actividades generales con que se operan las campañas fitosanitarias son: identificación de especies de importancia fitosanitaria, muestreo, exploración, trampeo, diagnóstico, asesoría, capacitación, divulgación, control cultural, control etológico, control biológico, control legal y control químico. Estos componentes del manejo integrado de plagas se incorporan a las particularidades de cada campaña de acuerdo a las necesidades propias de la problemática que se presenta con cada especie de insecto y con la región agroecológica que se atiende.

La problemática más relevante en el Estado se cita a continuación, se enfatiza primero sobre los aspectos biológicos y posteriormente sobre los potenciales efectos del cambio climático en los problemas fitosanitarios y productivos.

Broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). La broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) genera pérdidas económicas de aproximadamente 500 millones de dólares en 50 países productores de café del mundo. Los daños en el rendimiento se estiman hasta 20% y reduce el precio del producto entre 30 y 40%. Es un insecto que vive exclusivamente del grano del café en su etapa de maduración y por consiguiente, cuando no se combate oportunamente, causa perjuicio económico de gran magnitud en la cosecha. Existe una relación entre el porcentaje de infestación (calculado sobre el número de granos perforados en la planta) y el porcentaje de café beneficiado que resulta deteriorado por la acción de la plaga. Para dar una idea del daño que puede causar, cabe señalar que a 50% de infestación del cultivo corresponde hasta 30% del café beneficiado dañado, incluyendo granos parcialmente dañados que demeritan fuertemente su precio y granos dañados totalmente (Tocagani, 1980).

La broca del café taxonómicamente pertenece a la clase Hexápoda, orden Coleoptera, suborden polyphaga, superfamilia Curculionidae, familia Scolytidae, subfamilia Ipinae, Tribu Cryphalini, Género *Hypothenemus*, Especie *hampei* (Sánchez y Hernández, 1999). Es un insecto holometabolo, es decir, tiene metamorfosis completa; en el transcurso de su ciclo biológico pasa por los estados de huevo, larva, pupa y adulto

El huevo es globoso, ligeramente elíptico, de aspecto lechoso, se le encuentra individual o en grupo dentro del fruto, su tamaño es de aproximadamente 0,44 mm en su eje mayor (Velasco, 1995). Conforme se acerca la eclosión se torna de una coloración amarillenta. Este estado de incubación tiene una duración aproximada de 8 días, con una temperatura umbral inferior para el desarrollo de 10 °C. A menor temperatura tiende a tornarse de una coloración obscura debido a la interrupción de la embriogénesis (Costa y Villlalcorta, 1989).

La larva es de color blanco lechoso, tiene el aspecto de un grano de arroz diminuto en forma de “C”, no tiene patas, distinguiéndose a simple vista la cabeza por su coloración obscura y endurecida. Al final de su desarrollo llega a medir de 1,88 a 2,33 mm. Esta fase se lleva a cabo completamente dentro del fruto (Velasco, 1995).

La larva de la broca del café sufre dos mudas en el caso de hembras y una en el caso de los machos. Al termino del ultimo instar larval, tanto las hembras como los machos sufren

una interrupción en su alimentación y un aumento de excretas y por consiguiente una disminución en la talla, observándose un ligero encogimiento longitudinal (Costa y Villalcorta 1989). Este estado tiene una duración que puede ir de los 20 a los 26 días (Decazy, 1988).

La fase de larva tiene un porcentaje de desarrollo diario de 2,18% a 15°C, mientras que a una temperatura de 30°C el porcentaje de desarrollo diario es de 7,62% (Costa y Villalacorta 1989). Su temperatura umbral de desarrollo son 9,5 °C.

El estado de pupa puede llegar a confundirse con el larval, pero a diferencia de este, la pupa no desarrolla ninguna actividad, es decir, se mantiene inmóvil dentro de las galerías larvales, posee una coloración blanca lechosa o ligeramente amarillo (Velasco, 1995).

La pupa de la broca posee un tamaño de entre 1,37 y 1,93 mm de longitud y 0,51 a 0,82 mm de ancho. A medida que el proceso de desarrollo de la pupa avanza aparecen los apéndices cefálicos, antenas, ojos y el aparato bucal; aunado a ello, el desarrollo de las alas y las patas lo asemejan a la apariencia que adquirirá en su fase adulta. Cuando la pupa esta próxima a transformarse en adulto, se torna de un color amarillo pálido o pardo claro con las alas más obscuras (García, 1993).

Para la fase de pupa se considera un porcentaje de desarrollo diario de 5,39% a 15°C, mientas que a una temperatura de 30 °C el porcentaje de desarrollo diario es de 29,24% (Costa y Villalacorta 1989). Su temperatura umbral es 12,8°C.

El adulto de la broca es pequeño, la hembra es un poco más grande que el macho. Mide en promedio 1,65 mm de largo por 0,73 mm de ancho, tiene las alas posteriores bien desarrolladas lo que le da la cualidad de poder volar y de esta manera abandonar el fruto donde nació, cosa que no ocurre con el macho ya que apenas posee vestigio de alas membranosas razón por la cual no puede volar (Villanueva *et al.,* 1990). El macho tiene un longitud que va de 1 a 1,25 mm de largo (Velasco, 1995).

Una vez que la hembra emerge permanece unos días en la cereza, tiempo que aprovechan los machos que completan su desarrollo para fecundarla. Las hembras alcanzan su madurez sexual de 3 o 4 días después de haber emergido. Luego del apareamiento, las hembras emigran en busca de una cereza nueva que barrenar para ovopositar (Le Pelley, 1973). *H. hampei* se reproduce de manera sexual, aunque en condiciones de laboratorio se ha encontrado que es capaz de reproducirse por partenogenesis de tipo teliotoquia, es decir, hembras no fertilizadas dan origen a puras

hembras. El número máximo de huevecillos depositados partenogenéticamente es de 46, pero no todos eclosionan (Sánchez y Hernández 1999).

En la actualidad existe una gran variedad de métodos de control que pueden ser utilizados de manera integral en el combate de esta plaga. El uso de insecticidas químicos, de los cuales el endosulfan 35 CE y el Malathion son los más recomendados. Sin embargo, a la fecha se han desarrollado estrategias más compatibles con el medio ambiente, tal es el caso de *Beauveria bassiana* (Mendez 1990; Cotoc 2001), de bacterias; *Bacillus thuringiensis* (Arrieta *et al.*, 2004); y nematodos; *Metaparasitylenchus hypothanemi* N. Sp (Poinar *et al.,* 2005).

Por otro lado, el uso de enemigos naturales es una herramienta que ha demostrado ser eficiente utilizando parasitoides como *Cephalonomia stephanoderis* Betrem*, C. hyalinipennis* Ashmead*, Prorops nasuta* Westerst (Batchelor *et al*., 2006) y *Phymastichus coffea* Lasalle (Jaramillo *et al.,* 2005).

El manejo cultural del huerto juega un papel de suma importancia en el combate y control de la broca del café ya que acciones como: Poda de los cafetos, poda de los árboles que proporcionan sombra y manejo de la vegetación, tienden a modificar el microclima para hacerlo desfavorable para que la broca prospere; la fertilización adecuada que sincronice la floración en el huerto, reduce considerablemente el daño que puede ocasionar este insecto al cultivo del café. Así como la pepena y la repela o bien el uso de trampas con semioquímicos, son extractos etanólicos y metanólicos de los frutos maduros (0,46 kg de fruto/l de alcohol).

Respecto a la campaña contra Broca del café en San Luis Potosí, el insecto se detectó oficialmente en el año 2000 en el estado, y a principios del año 2004 se encontró presente en 4 766 ha de los municipios de Axtla de Terrazas, Matlapa, Xilitla y Tamazunchale; sin embargo, se tuvieron nuevos brotes de la plaga en el municipio de Aquismón, considerado libre de la broca del café. La superficie estatal con presencia de la plaga es de 5 566,00 ha, afectando a más de 19 000 productores de escasos recursos económicos, principalmente en áreas de alta marginalidad de la entidad. Están en riesgo de afectación 15 633,00 ha que hasta el año 2005 se consideraban libres de la plaga. La distribución de la especie en el municipio de Tamazunchale es en 1 125 ha de 8 localidades, en Matlapa en 884,00 ha de 14 localidades, en Axtla de Terrazas en 98,00 ha de 3 localidades, en Xilitla 2 659,35 ha de 36 localidades y en Aquismón en 800 ha de 4 localidades.

El control biológico se realiza con aplicaciones del hongo *B. bassiana* en sólo 7 010 ha, porque algunos productores aún muestran desconfianza por el entomopatógeno. Respecto al muestreo, se lleva a cabo con el uso de trampas etológicas elaboradas a base de alcohol.

Mosca mexicana de la fruta. Anastrepha ludens (Loew). Las denominadas moscas de la fruta constituyen una limitante importante en la producción frutícola. Su establecimiento en los cultivo causa pérdidas considerables sobre todo por la reducción en la cantidad y calidad de los frutos cosechados, además, de las implicaciones que algunas especies tienen en el comercio internacional. La capacidad de adaptación al ambiente les permite proliferar casi en cualquier bioma. Existen en el mundo alrededor de 4 000 especies de estos insectos, encontrándose en México poco más de 100. Destacan por su importancia económica y cuarentenaria los géneros *Anastrepha, Rhagoletis, Dacus, Toxotriphana* y *Ceratitis.*

Taxonómicamente pertenece a la clase Hexápoda, orden Díptera familia Tephritidae, Género *Anatrepha* y Especie *ludens*.

Las moscas de la fruta son insectos frugívoros, que presentan metamorfosis holometábola o completa. La mayor parte de su ciclo la pasan en estado inmaduro que es la etapa en la que causan daño. El ciclo de este insecto se desarrolla de la siguiente manera: una hembra, tras de copular es fecundada, inserta su ovopositor en la fruta y deposita huevecillos, de los que emergen las larvas que se alimentarán de la pulpa hasta completar tres estadios y ya maduras se transforman en pupa. Después de algún tiempo, de estas salen los adultos que iniciarán de nueva cuenta el ciclo.

Las moscas recién emergidas son blandas y húmedas, por lo que buscan un refugio donde permanecen inmóviles hasta que se secan. Sus alas aun no adquieren la coloración característica y su vuelo es corto. Una vez que las alas están completamente secas se activan y vuelan a la parte superior del árbol que les dio refugio, para buscar alimento, el cual encuentran en frutas maduras que presenten alguna lesión, en secreciones de troncos u hojas, en excremento de pájaros y en secreciones azucaradas de áfidos u otros insectos chupadores. Esta actividad es esencial para alcanzar su madurez sexual. Las moscas pueden ser divididas en dos grandes grupos, las que solo tienen una generación al año, es decir las que son univoltinas y que habitan en regiones con clima templado con una fluctuación estacional marcada, y las especies multivoltinas, es decir aquellas que tienen varias generaciones al año y que son comunes en regiones

con clima tropical y subtropical. En el primer caso encontramos especies del genero *Rhagoletis,* mientras que *Anastrepha* es más común en zonas de clima benigno. De acuerdo con las exigencias del medio ambiente se desplazan entre un hospedero y otro. Es así que en el trópico completan hasta 10 generaciones al año.

Los huevecillos de la mosca de la fruta pueden diferir en función de la especie, pero son muy parecidos. Dependiendo de las condiciones ambientales, el huevo tardará de uno a siete días para eclosionar, normalmente son ovopositados cerca del pedicelo (Aluja, 1994; Solis y Ayala, 1997).

Leyva (1988) encontró que a 17,7 °C el estado de huevo dura aproximadamente 10,38 días para eclosionar, mientras que a 29,7 °C se acorta el ciclo a 4 días, determinando un umbral de desarrollo inferior de 9,7 °C. Por lo que bajo condiciones de laboratorio el ciclo se completa con 316 ± 10 unidades calor para la etapa pupal y 291 ± 57 unidades calor para el estado de huevecillo y tres instares larvales.

La larva pasa por tres estadios lo que le llevara dependiendo de las condiciones ambientales de 6 a 55 días (Aluja, 1994).

Al terminar el desarrollo larval, el insecto sale del fruto y se introduce superficialmente en el suelo para pupar.

Después de su periodo como pupa, el adulto emerge rompiendo el pupario con un órgano denominado ptilium localizado sobre la cabeza. Con este empuja una punta del pupario y emerge. Dependiendo de la temperatura y la humedad, la duración del estado es entre 8 y 15 días si ambos factores climáticos son favorables, de otra manera, puede durar varios meses en este estado (Aluja, 1994).

El adulto es de tamaño medio, similar al de una mosca doméstica.

En la actualidad, hablar del mecanismo para controlar la incidencia de la mosca mexicana de la fruta resulta inoperante; más bien, debemos de hablar del manejo integrado de la mosca mexicana de la fruta. Para llevar a cabo esta actividad, se deben emprender acciones sustentadas en un eficiente muestreo, para lo cual se utilizan trampas McPhail, la cual es cebada con proteína en pastillas (torula); se recomienda realizar este muestreo a través de la revisión de trampas por lo menos cada 8 días.

El muestreo sirve para sacar el índice MTD (moscas por trampa por día). Este índice marcará la pauta para las acciones a realizar. Si el MTD se encuentra debajo de 0.001 se iniciarán acciones que incluyan el control biológico con la liberación del parasitoide

Diachasmimorpha longicaudata, Synthomosphirum indicum, Pachycrepideus vindemmiae o se hacen liberaciones de insectos estériles, los que al copular con los insectos nativos resultan no fecundados.

El Estado de San Luis Potosí ocupa el cuarto lugar en la producción de cítricos a nivel nacional, con una superficie establecida de 48 602,90 ha. En el Estado se cuenta con dos zonas productoras de mayor importancia que se localizan, la primera, en la Huasteca, con una superficie cultivada de 35 363 ha y la otra en Zona Media, con 4 600 ha. En la actualidad ambas zonas, han sido clasificadas en el estatus de control, aunque en ambas existen huertos certificados como temporalmente libres, lo que ayuda a comercializar la fruta a mejor precio, debido a su calidad y cumplimiento con las exigencias del mercado nacional y en casos limitados para exportación a través de otras instancias certificadoras.

En la Zona Huasteca se han intensificado las acciones de detección y control de moscas de la fruta en 3 000 ha, ubicadas en los municipios de Tampacan, Axtla de Terrazas, Tampamolón Corona y Matlapa, con la finalidad de alcanzar el estatus en esta superficie como zona de baja prevalencia y el establecimiento en la modalidad de huerto temporalmente libre de la plaga de 200 ha de cítricos de la localidad de Miraflores, municipio de Tampacán.

En parte de la LLRV, en el área de Río Pinihuán, el indice de MTD se ha reducido a niveles de baja prevalencia de la plaga y se ha logrado el reconocimiento de algunos huertos de cítricos como temporalmente libres. Este logro representa una oportunidad de mejora para los productores porque permite mayor libertad de mercado y mejor precio de la producción.

Langosta *Schistocerca piceifrons* (Walker, 1870). Es un insecto del orden Orthoptera, está considerada entre las plagas más perjudiciales. Sus diferentes especies año con año asolan cientos de miles de hectáreas cultivadas alrededor del mundo, causando severos daños en cereales, pastos, legumbres y frutales. Se calcula que una manga o grupo de poblacional grande, con una densidad de 80 millones de individuos/km^2 puede consumir hasta 100 toneladas de alimento verde por día. Una langosta de dos gramos de peso consume entre 70 y hasta 100% de su peso en material fresco (Astacio, 1987). Lo que anteriormente se conoció como *S. americana* o bien como *S. afin paranensis*, actualmente está clasificada como *S. piceifrons.* Esta a su vez presenta dos subespecies: *S. piceifrons peruviana* que se encuentra distribuida en Perú, al sur de Ecuador,

Colombia, Venezuela, Panamá, Trinidad y Tobago y Guyana; y *S. piceifrons piceifrons* que se encuentra distribuida desde México hasta el norte de Costa Rica (OIRSA, 1991).

S. piceifrons piceifrons es la única que tiene la particularidad de gregarizar y cambiar de fase. El gregarismo es la característica que le permite a ciertas especies de saltamontes, cambiar de una fase individual, solitaria e inofensiva, a una fase que agrupa, altamente perjudicial desde el punto de vista económico. (Retana, 200).

A diferencia de la langosta los chapulines son aquellos acrídidos que aun cuando pueden ser abundantes, causar severos daños en áreas extensas igual que las langostas, sin embargo, no sufren transformación física así como tampoco tienen una área geográfica especifica de multiplicación y gregarización.

Las langostas son acridoideos grandes, de 40 a 60 mm de longitud. De color café grisáceo hasta pardo oscuro, con las alas completamente desarrolladas cuando se trata de formas adultas Los fémures posteriores son fuertemente engrosados. Los individuos de este género se caracterizan por presentar un lóbulo prosternal de posición vertical. Las tegminas poseen manchas irregulares de color negro. Los fémures posteriores poseen una banda oscura sobre el área media de la cara externa. Las tibias posteriores poseen espinas inmóviles sumamente pronunciadas (Anaya *et al*., 2000).

Dentro del orden Orthoptera, las langostas pertenecen al suborden Caelifera; superfamilia Acridoidea; familia Acrididae; subfamilia Cyrtacanthacridinae; género *Schistocerca* y existen diferentes especies.

La langosta, *S. piceifrons* Walker 1870, se ha constituido con frecuencia en la principal plaga de maíz, fríjol, sorgo, soya, caña de azúcar, presenta dos generaciones por año, y es poseedora de una enorme capacidad de gregarizacion y emigración, características que la sitúan como langosta verdadera. Si los grupos gregarizados se constituyen por adultos se denominan mangas y si están formados por ninfas o estadios inmaduros se les denomina bandas (Barrientos *et al.,* 1992).

Cuando hablamos de langosta nos estamos refiriendo concretamente a aquellos insectos acrididos migratorios, los que debido al incremento en el número de individuos tienen la capacidad de cambiar de comportamiento o algunos aspectos fisiológicos como el color y la forma, ya que, pasan de lo que se conoce como forma/fase solitaria a una forma/fase gregaria como respuesta a los cambios de densidad (Symons y Cressman, 2001, citado por Velásquez, 2003).

La biología de las especies de la familia acridoidea es muy similar, son insectos que presentan metamorfosis simple o incompleta, ya que, pasa por etapa de huevo, ninfa y adulto, por lo general se distinguen de 5 a 6 estados ninfales, la mayoría inverna en estado de jebecillo; sin embargo, en lugares donde el invierno no es tan severo pueden pasar esta etapa en estado ninfal, bien desarrollada, o bien en estado adulto.

En México, *S. piceifrons* presenta hasta dos generaciones por año, la primera inicia más o menos en mayo y termina en agosto y la segunda inicia en octubre y termina en diciembre. Durante la época de sequía existe una diapausa imaginal. Requiere de aproximadamente 150 días para la primera generación y de 51 para la segunda (Barrientos *et al.,* 1992).

La primera copula inicia en abril y termina en julio, al inicio del periodo de lluvias. El segundo periodo de copula inicia a finales de agosto y termina en noviembre. El tiempo entre la copula y la oviposición puede variar de cuatro a 15 días según las condiciones ambientales (Harvey, 1983).

Una vez que las ninfas emergen alcanzan la etapa de saltonas en dos meses. Como se ilustrará en el cuadro 1.

Los huevecillos de la langosta son preferentemente ovipositados en suelos arenosos o arcillo-arenosos, a una profundidad promedio de 10 cm. Los huevecillos en forma alargada son depositados en una masa u ooteca de unos siete cm de longitud, son cubiertos por una capa espumosa protectora que proporciona una fácil salida para las ninfas. Una ovipostura puede tener entre 40 y 150 huevecillos (Retana, 2000).

Según Astacio y Landaverde (1988), los tiempos de eclosión varían de 80 días a 19 °C a 10 cm de profundidad, hasta 15 días con una temperatura de 35 °C.

La etapa embrionaria se desarrolla debajo de la tierra mientras que la ninfal y el adulto lo hacen encima de ella. La lluvia o variaciones térmicas pueden inducir la emergencia de la ninfa. La ninfa normalmente se encuentra envuelta en una cutícula cuyas finas ornamentaciones escamosas le facilitan ascender hacia la superficie del suelo siguiendo el eje del tapón espumoso que poseía la ooteca. Ahí se libera de la membrana que la cubría mediante la aparición de una muda intermedia o falsa muda para que al cabo de algunas horas sus apéndices se tornen funcionales (Barrientos *et al.,* 1992)

Tabla 7.4. Duración aproximada de los estados del ciclo de vida de la langosta *Schistocerca piceifrons piceifrons* en la región Cañas- Liberia. (Retana, 2000).

	Duración		Promedio meteorológico regional (cañas-Liberia)				Observaciones	
Estado	**Dias**		**P**	**Temp (°C)**	**pp. (mm)**	**GD (°C/ciclo)**	**Muda**	**Color**
Huevo	30	30	1	25.5	64	405	Falsa muda	Marrón
			2	27.4	69	432		
1° Estadío Ninfal	8	38	1	26.7	58	110	Primera Muda	Pardo
			2	27.3	83	114		
2° Estadío Ninfal	10	48	1	26.7	48	137	Segunda Muda	Amarillo Con Bandas
			2	27.3	76	143		
3° Estadío Ninfal	10	58	1	26.7	58	137	Tercera Muda	Amarillo Y negro
			2	27.4	78	144		
4° Estadío Ninfal	11	69	1	26.7	51	151	Cuarta Muda	Café y rojo
			2	27.3	78	157		
Ultimo Estadío	11	80	1	26.8	46	166	Quinta Muda	Café rojo y verde
			2	27.4	77	173		
Volador Joven	100	180	Alcanza la madurez sexual al segundo o quinto mes				No hay Muda	Pardo Oscuro
Adulto Maduro	Vive de 6 a 7 ciclos reproductivos						No hay Muda	Amarillo

P = Período anual: (1: septiembre a diciembre, 2: mayo a agosto)

Nota: GD, grados día = (T-Tmb) * D; donde: T= temperatura media (ºC) Tmb= temperatura mínima biológica 13 ºC (Uvarov 1935 y Chacón 1985).

Este insecto desde que nace es muy similar a los adultos excepto por el tamaño, son más pequeños, y porque no poseen alas. Las ninfas antes de transformarse en adultos pasan de cuatro a ocho estadios dependiendo de la especie. Durante la muda, la cutícula vieja se rompe por la parte dorsal a nivel del cuello y mediante la contracción rítmica del abdomen se libera de la exuvia. Estos movimientos abdominales son el resultado del aumento del volumen del cuerpo gracias a los sacos traquéales y la redistribución de la hemolinfa dentro del mismo. La última muda ninfal es semejante a las anteriores pero en estas los esbozos de alas se van a desarrollar completamente y el joven adulto va abrir sus alas para secarlas en posición correcta antes de doblarlas sobre su cuerpo siguiendo

ciertas nervaduras longitudinales (Barrientos *et al.,* 1992). La duración del estado ninfal varía en función a la temperatura, puede ser desde 50 días hasta casi 300.

La teoría de fases desarrollada por B. Uvarov, en 1921, señala que algunas especies de langostas no son estables en sus características biológicas o morfológicas a lo largo de su ciclo de vida. Estas especies son afectadas por estímulos externos e internos dentro de los cuales el clima es muy importante. Estos estímulos provocan que las langostas cambien literalmente de aspecto y conducta. Este cambio se conoce como cambio de fase o transformación física. De la fase solitaria que es aislada, sedentaria y agrícolamente poco dañina, pasan a la fase gregaria, donde se observan cambios morfológicos significativos en el tamaño y el color. Además, la conducta social también varía, volviéndose gregarios más inestables y nerviosos en busca siempre de concentrarse socialmente. En esta fase el peligro potencial de la plaga aumenta debido a que el grupo se vuelve más agresivo y denso. Para completar estas transformaciones la langosta requiere frecuentemente de más de una generación (Skaf y Billaz 1986; citado por Retana, 2000).

Aquellos acrididos que no sufren una transformación física son los que comúnmente se conocen como chapulines o saltamontes, sin embargo, estos pueden llegar a aglomerarse en concentraciones densas y ocasionar severos daños. Son necesarias tres condiciones para que se constituya una manga: multiplicación, concentración y gregarización. Cuando un grupo se multiplica considerablemente y si no se dispersa y más bien se concentra en áreas reducidas, superando el umbral de agrupamiento, existen grandes posibilidades que cambie de fase (Barrientos *et al.,* 1992).

En el caso de la langosta el monitoreo es clave con el fin de detectar en sus etapas iniciales de gregarización aquellas poblaciones que pueden llegar a constituir un riesgo para los cultivos y/o pastizales. Para el control de la langosta se han empleado métodos mecánicos, químico y recientemente el control biológico, (Lomer *et al.,* 2001).

El control químico contempla el espolvoreo con productos, las aspersiones a ultra bajo volumen con productos organofosforados y carbamatos (Cressman y Dobson, 2001), recientemente algunos piretroides e inhibidores de la síntesis de la quitina (Coppen 1999).Actualmente se ha estado empleando el Fipronil con éxito aceptable (CESAVEG, 2005).

En la actualidad se ha impulsado en gran medida el control biológico a base de insectos benéficos y el microbiano con entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* var

acridum incluso reconocido por la FAO como una herramienta básica (Magalhaes *et al.*, 2000; Hunter, 2001). También *Nosema Locustae* se ha probado a nivel laboratorio con excelentes resultados (Lange *et al.,* 1998).

Respecto al potencial de control biológico, se ha consignado el uso de entomófagos como *Scello ernestii* Riley, parasitando huevecillos de *S. p. piceifrons* (Harvey 1983), y especies de predatores de huevecillos de langosta en los genéros *Oophagamyia* y *Wohlfahrtia* (Sarcophagidae), y *Stomorhina lunata* de la familia Califoridae. La especie *Acridoma sacharovi* (Anthomyiidae) es parasitoide gregario de ninfas de quinto instar y adultos de *L. migratoria*. De la misma manera, a los géneros *Sarcophaga* y *Blaesoxiphaga* (Sarcophagidae) se les cita porque poseen hábitos parasíticos sobre ninfas y adultos de langosta (Clausen 1972).

Larvas de Meloydae, *Epicauta murina* (Leconte), *E. Vittata* (F.) son citadas como depredadoras de huevecillos (Harvey 1983).

En la Zona Huasteca del Estado de San Luis Potosí, durante el año 2002, la presencia de langosta fue de gran importancia económica para el sector agropecuario, se formaron bancos de saltones y mangas, por lo que fue necesario tratar con control químico (terrestre y aéreo) 63 041 ha. Para 2003 se intensificaron las actividades de detección y control en por lo menos 9 municipios, dirigiendo el manejo fitosanitario hacia estados inmaduros, áreas de gregarización y adultos congregados. En 2004, producto de las acciones realizadas el año anterior, la situación y enfoque de la campaña cambia, se dirige básicamente a la exploración y muestreo en 362 000 y 36 200 has respectivamente, que están bajo control. Como resultado de las actividades de detección y control realizadas en el año 2003 e inicios de 2004, se logró reducir el nivel de infestación de langosta, a tal grado que en la Zona Huasteca, a excepción de Ébano, no fue necesario realizar medidas de combate durante los últimos meses de 2004, ni en 2005, alcanzando en el mes de mayo del primer año un total de 426 ha en solo 3 Municipios en comparación a los 10 Municipios altamente infestados durante el año 2003.

Las observaciones realizadas en el Estado en los últimos 30 años señalan que los incrementos de Tx, Tn, las variaciones en la humedad, evapotranspiración potencial y la aridez de precipitación alteradas y posiblemente incremento de la frecuencia de eventos extremos (sequía, inundaciones) probablemente se combinarán para reducir rendimientos e incrementar los riesgos de producción agrícola en el mundo, ampliando la brecha entre países ricos y países pobres.

El cambio climático pude tener consecuencias serias en países en desarrollo, donde más de 800 millones de personas están en desnutrición, por la escasez de capital para adoptar medidas preventivas, porque su línea base climática es más caliente y por su mayor exposición a eventos extremos.

Un rango amplio de efectos a los sistemas naturales, la agricultura y la fitosanidad pueden ser atribuidos al calentamiento, se incluye entre ellos: 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; consecuencias sobre ecosistemas y comunidades completas; reducción significativa de los sistemas boreal y ártico (60% de reducción); en contraste, se expanden las zonas tropicales y las zonas áridas en países en desarrollo.

El impacto del cambio climático sobre la agricultura incluye:

En zonas áridas habrá periodos con menos de 120 días para producción agrícola, periodo definido como el número de días seguidos en un año (120), con temperatura y condiciones de humedad favorables para la producción agrícola.

Respecto al efecto del cambio climático sobre aspectos fitosanitarios, debe recordarse que en los insectos y fitopatógenos, como 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.

Los efectos específicos que se darán en la actividad de los insectos en un ambiente con elevada concentración de CO_2 que favorece el calentamiento global, dependerán de sus formas de alimentación. La elevada concentración de CO_2 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 CO_2 hasta 600 o 1200 µmol mol^{-1} con el fin de estimular el crecimiento y rendimiento de hortalizas y ornamentales (Horng *et al.,* 2004).

La elevación de Tx y Tn afectara indirectamente a los insectos por los cambios que ocurren en plantas, en la cantidad y calidad de la vegetación. Pero directamente modificaran la tasa de mortalidad en invierno, provocando 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.

Especies tropicales y subtropicales actualmente avanzan a latitudes antes imposibles, y lo seguirán haciendo hasta donde su resistencia al frío se los permita (no invernan).

Otros 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, 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 los insectos de zonas tropicales a zonas templadas. 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 (Kiritani, 2006).

Otro problema que se volverá trascendental con el calentamiento global 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 (Kiritani, 2006); 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 (Ayres y lombardero, 2000).

Finalmente, mientras que la comunidad internacional se ha enfocado a atenuar el cambio climático, el asunto de la adaptación es igualmente importante y debe ser puesto en la agenda de la negociación internacional. Esto es de importancia crítica para muchos países en desarrollo que han contribuido poco a la emisión de gases invernaderos hasta ahora, y todavía son estos países que presentarán el mayor peso del impacto negativo del cambio climático y su variabilidad.

7.2 Evaluación de la vulnerabilidad del sector agua.

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).

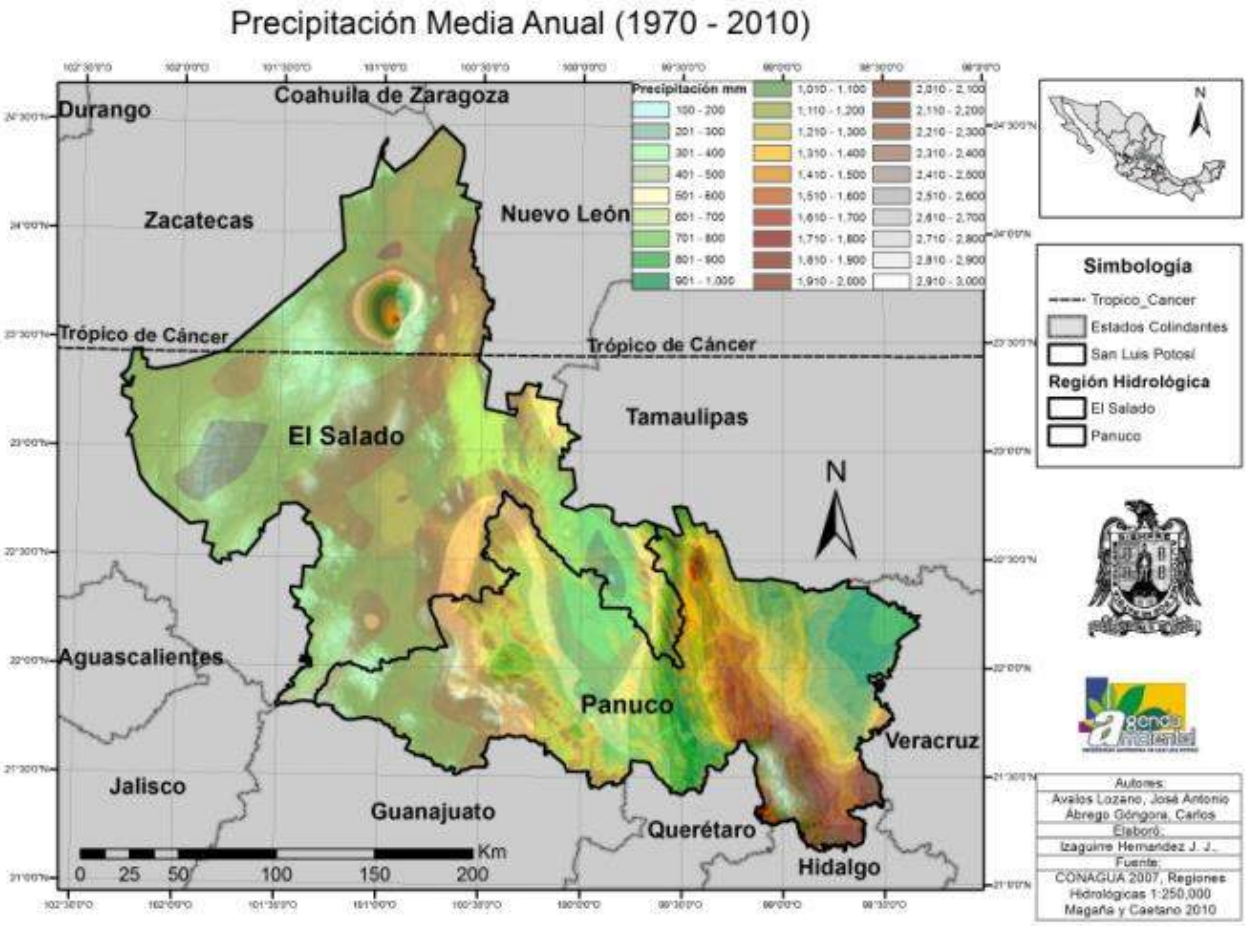
El balance hidrológico para las condiciones actuales se realizó a nivel de región hidrológica; nuestro Estado está comprendido en las Regiones Hidrológicas El Salado y Pánuco.

Para la evaluación de la precipitación se analizó la distribución espacial de la pp 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 (2007), lo anterior se muestra en la serie de Mapas 7.7. Realmente la incertidumbre en los escenarios de pp es muy alta, pero por el momento no existe información de mejor calidad.

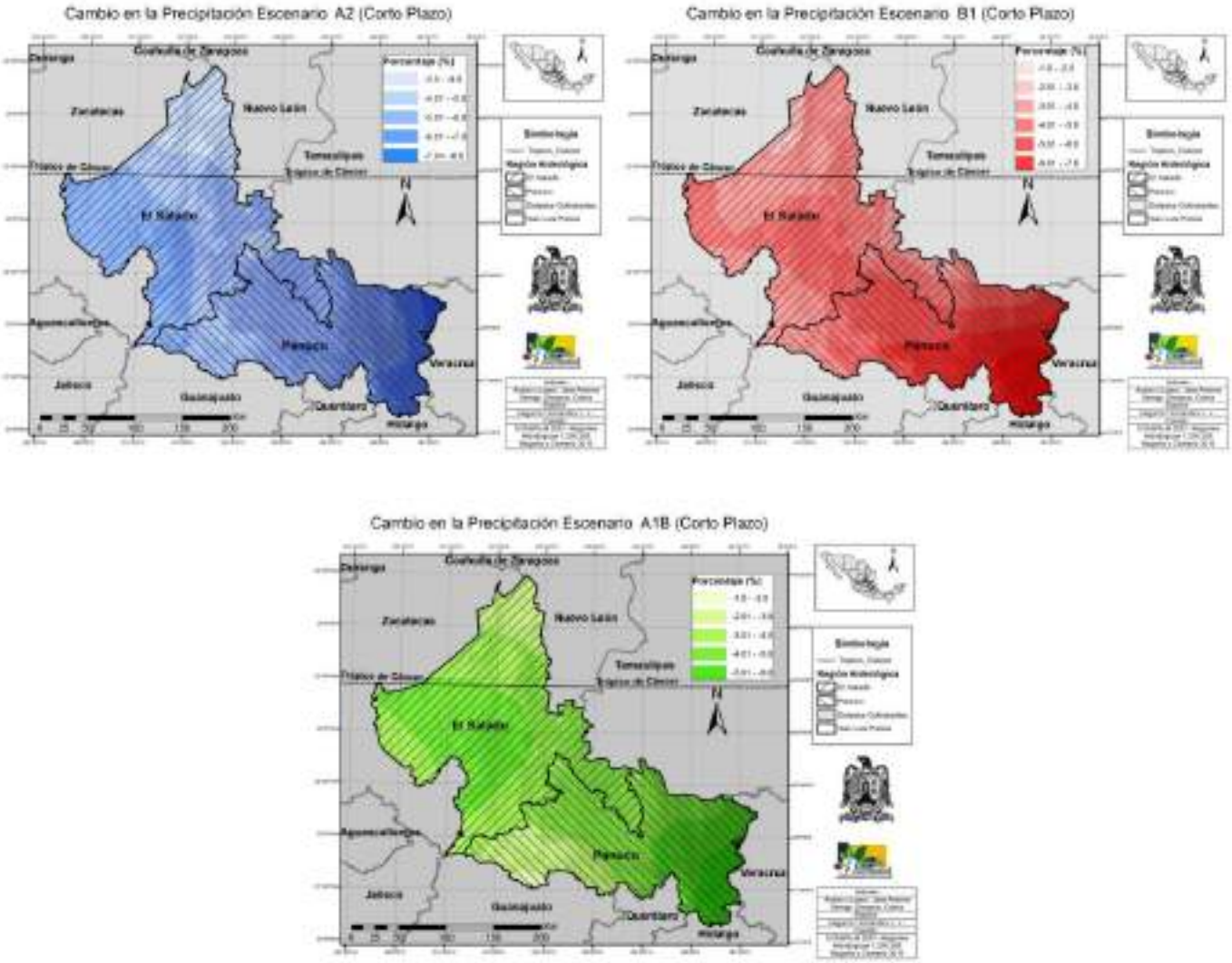
La escorrentía superficial se determinó mediante el coeficiente de escurrimiento, el cual fue obtenido en base a los datos de escurrimiento natural medio superficial publicado por CONAGUA (2012). El cambio en el almacenamiento en los mantos subterráneos se

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.

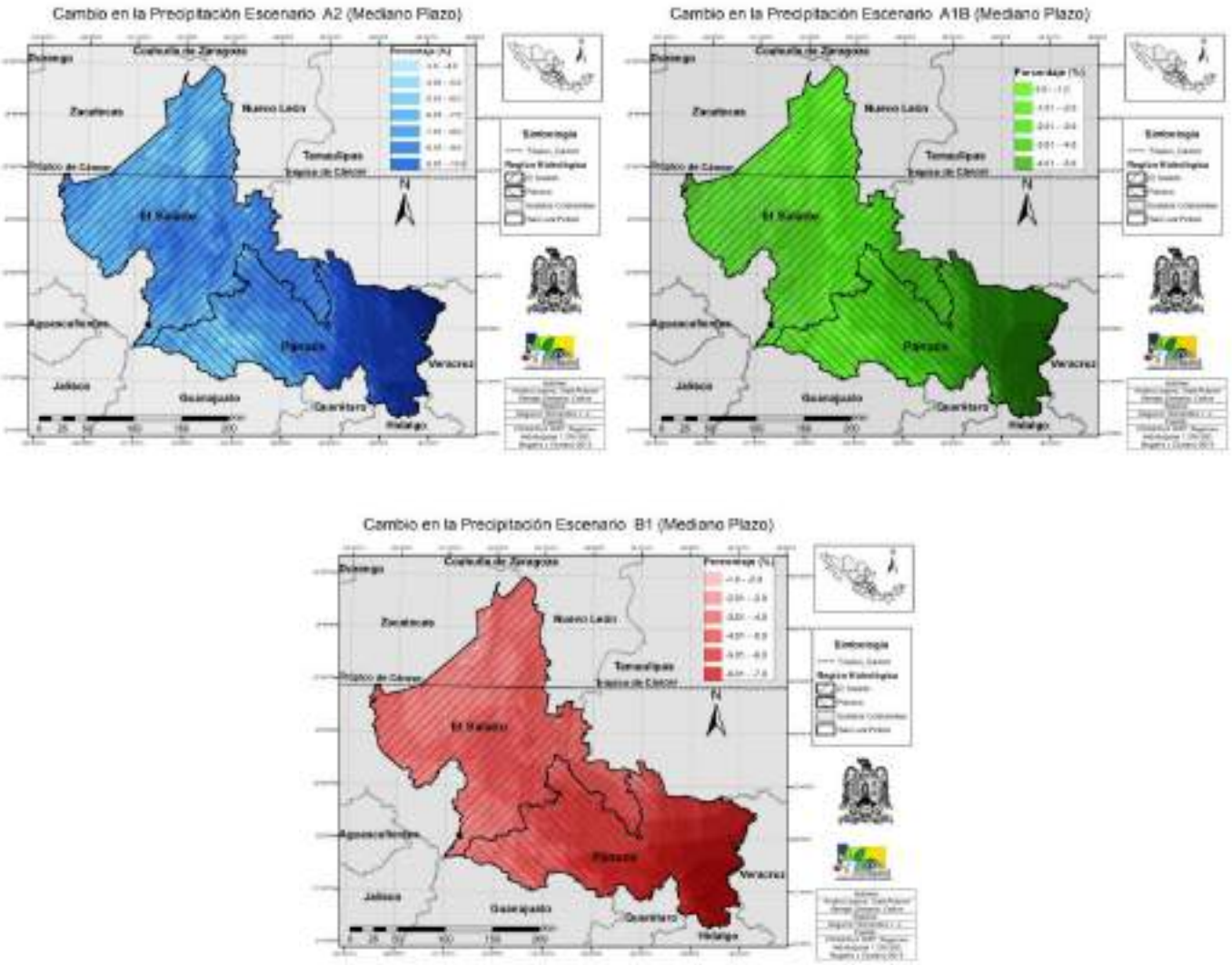
Para la evaluación del balance hidrológico bajo condiciones de cambio climático en el Estado, a corto, mediano y largo plazo, se tomó en cuenta la variación en la precipitación obtenida de los escenarios previamente mencionados. Para la escorrentía se consideró constante el coeficiente de escurrimiento (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 7.6 y 7.7.



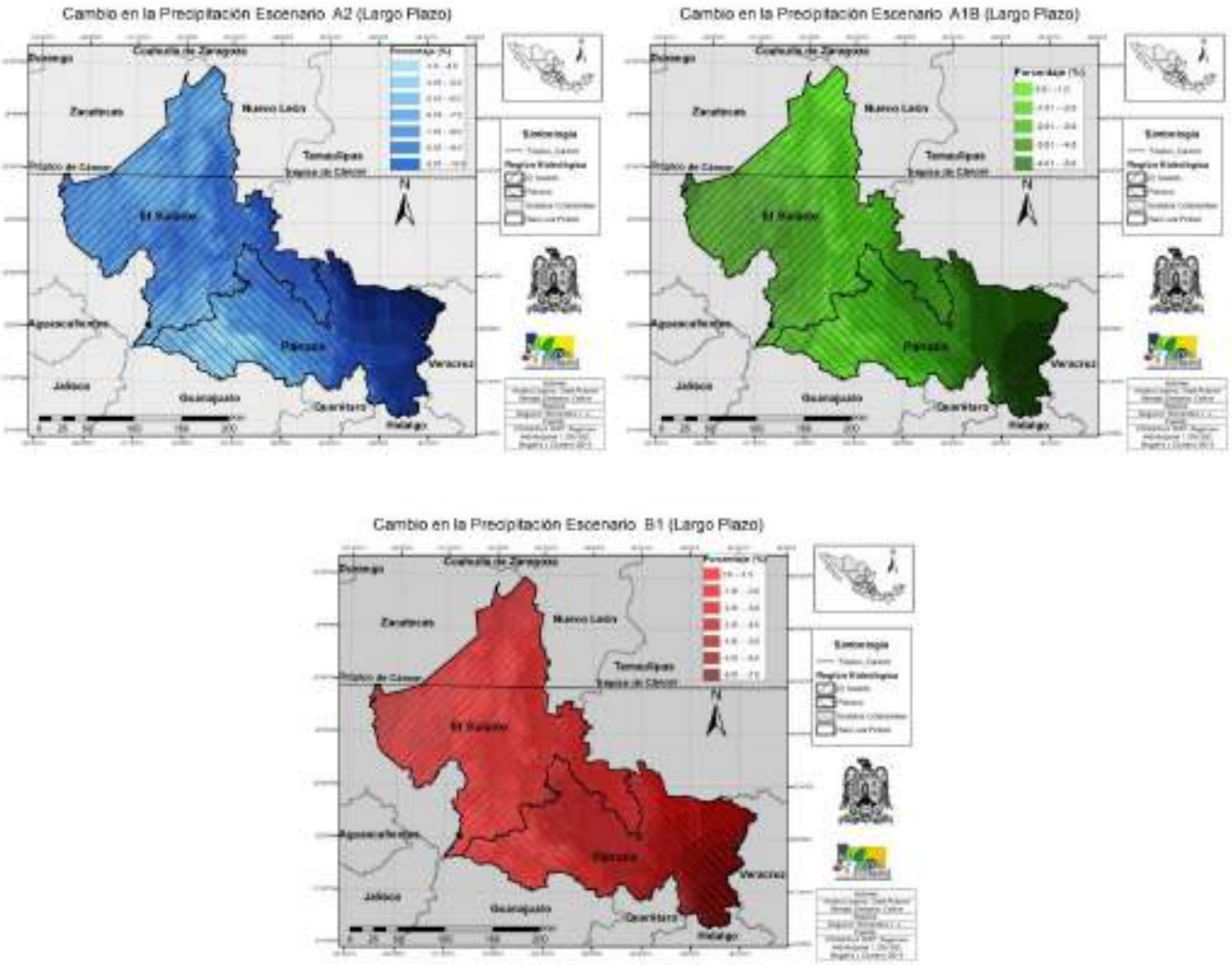
Mapa 7.6 Distribución espacial de la precipitación media anual (1970-2010).



Mapa 7.7.A Distribución espacial de la precipitación media anual a corto plazo para los escenarios A2, A1B y B1



Mapa 7.7.B Distribución espacial de la precipitación media anual a mediano plazo para los escenarios A2, A1B y B1.



Mapa 7.7.C Distribución espacial de la precipitación media anual a largo plazo para los escenarios A2, A1B y B1

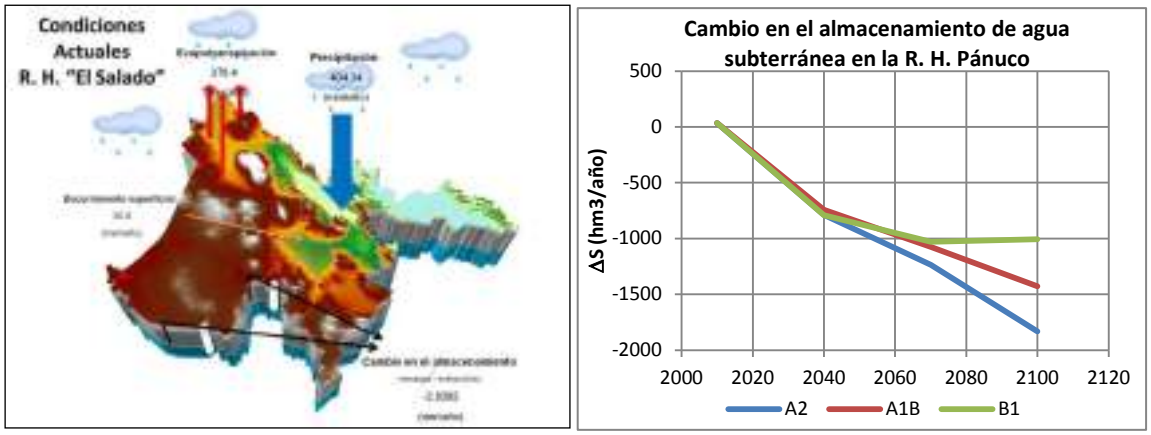
Tabla 7.6 Balance hidrológico para la R. H. Pánuco.

Climatología	**Precipitación** (mm/año)	**ETR** (mm/año)	**Escurrimiento 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 A_2					
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 A_1B					
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 B_1					
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

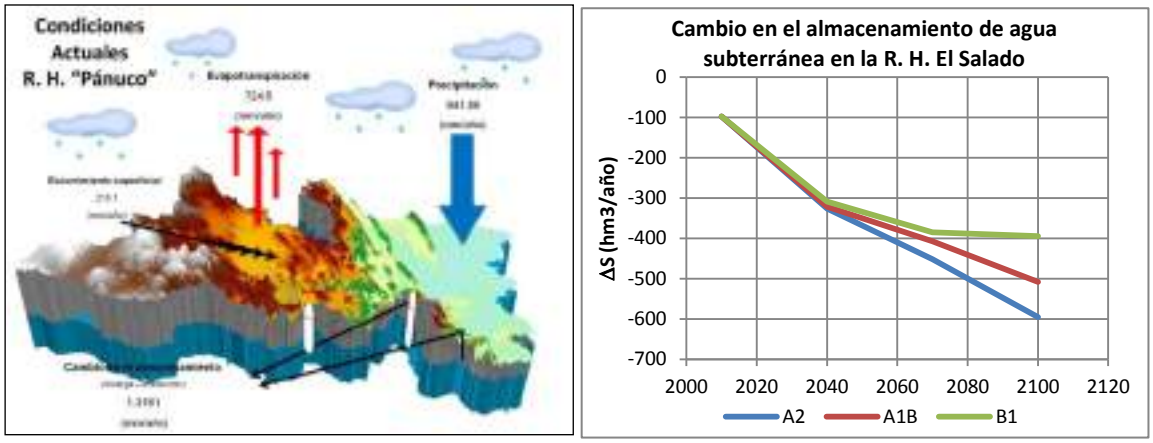
Tabla 7.7 Balance hidrológico para la R. H. El Salado.

Climatología	**Precipitación** (mm/año)	**ETR** (mm/año)	**Escurrimiento 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 A_2					
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 A_1B					
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 B_1					
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 7.8 y 7.9 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.



Mapa7.8 Variación del almacenamiento subterráneo en la R. H. Pánuco para los escenarios A2, A1B y B1.



Mapa 7.9. 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 7.8 Disponibilidad *per cápita* de agua en la R. H. Pánuco.

Climatología	**Escorrentía** (hm^3/año)	**Recarga de acuíferos** (hm^3/año)	**Disponibilidad de agua** (hm^3/año)	**Población** (millones de hab.)	**Disponibilidad per capita** (m^3/hab.-año)
Actual (1971-2010)	5650	250.1	5900	1.094	5391
Escenario A_2					
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 A_1B					
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 B_1					
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 7.9 Disponibilidad *per cápita* de agua en la R. H. El Salado.

Climatología	**Escorrentía** (hm^3/año)	**Recarga de acuíferos** (hm^3/año)	**Disponibilidad de agua** (hm^3/año)	**Población** (millones de hab.)	**Disponibilidad per capita** (m^3/hab.-año)
Actual (1971-2010)	1059	357.7	1416	1.491	950.3
Escenario A_2					
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 A_1B					
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 B_1					
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 7.2 y 7.3 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.

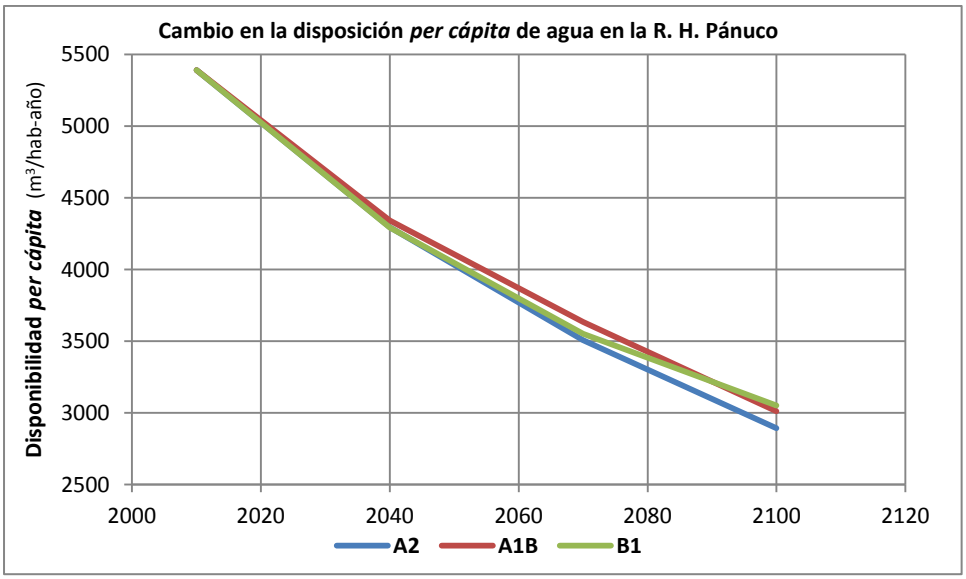


Figura 7.2 Variación en la disposición de agua *per cápita* en la R. H. Pánuco para los escenarios A2, A1B y B1.

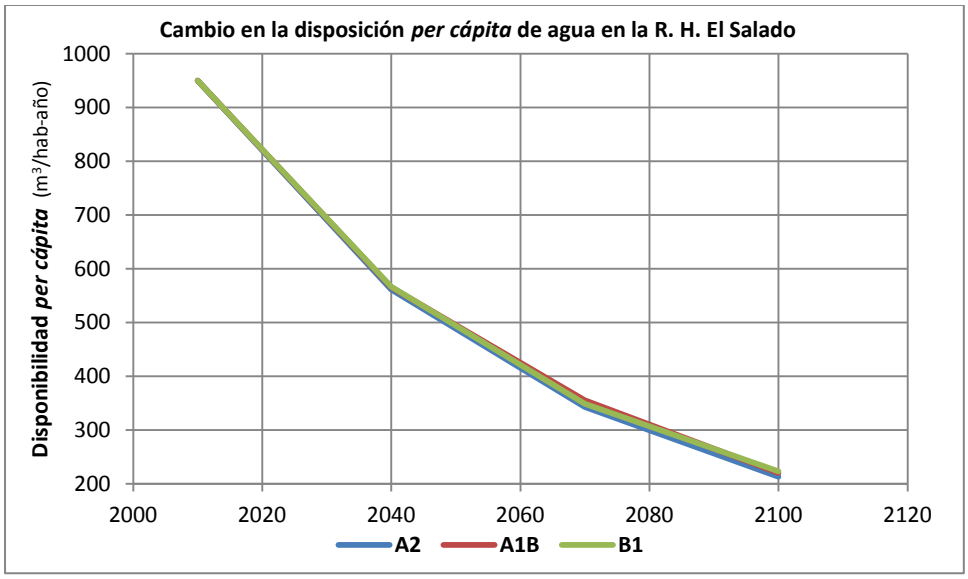


Figura 7.3 Variación en la disposición de agua *per cápita* en la R. H. El Salado para los escenarios A2, A1B y B1.

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.

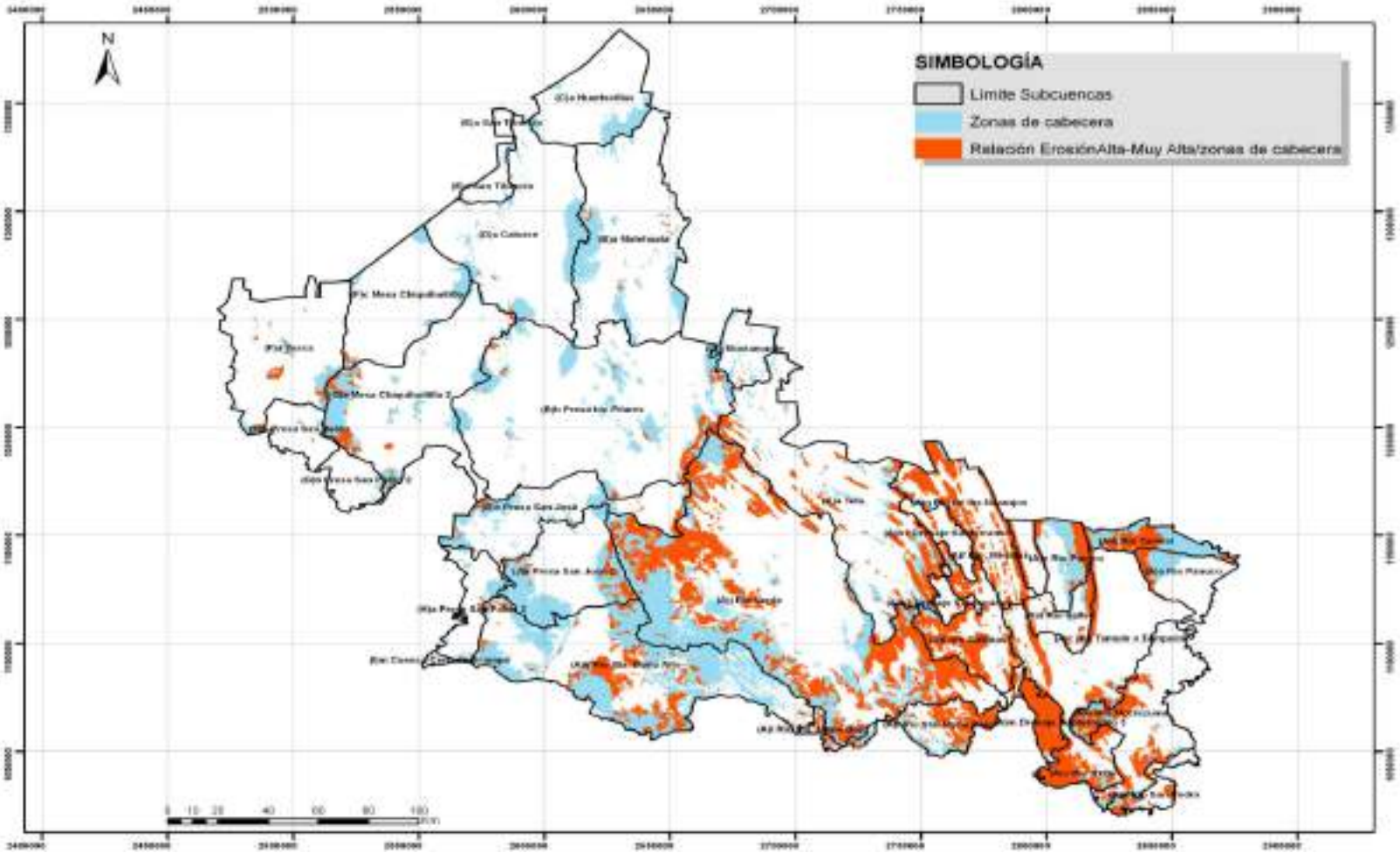
El análisis realizado señala que la disminución en la precipitación combinada con el aumento en la temperatura media, podrían ocasionar un aumento en la Evapotranspiración Real; lo cual generaría la sobreexplotación de los mantos acuíferos

del Estado, con un déficit promedio de 773.3, 1112.7 y 1421.6 hm^3/año a corto, mediano y largo plazo para la R. H. Pánuco y de 318.6, 414.6 y 499.2 hm^3/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 m^3/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 perdida de la integridad funcional de cuencas, lo cual influye en la recarga de acuíferos y en la formación de corrientes. Esta pérdida motivado por el cambio en el uso de la tierra (CUS) y la erosión como puede observarse en el mapa 7.10 y la tabla 7.10.

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.



Mapa 7.10 Erosión en las zonas de cabecera (ZC) de las cuencas de San Luis Potosí.

Tabla 7.10 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
(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

7.3 Evaluación de la vulnerabilidad de los tecnoensambles (ciudades y su área de servidumbre ecológica) de San Luis Potosí a la variabilidad y el cambio climático

Con el paso del tiempo los tecnoensambles[2] 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 gases de efecto invernadero (GEI) 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 Censo de Población y Vivienda 2010, realizado por el INEGI, en el estado de San Luis Potosí se cuenta con una población total de 2 585 518 habitantes, lo que representa un 2.3% con respecto al dato nacional.

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

[2] 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.

población que habita en estos seis municipios suma 1 435 130 habitantes, que representan el 56% del total de la entidad.

Tabla 7.11 Población de los seis municipios más importantes de SLP

Municipio	No. Habitantes
San Luis Potosí	772,604
Soledad de Graciano Sánchez	267,839
Ciudad Valles	167,713
Matehuala	91,522
Rioverde	91,924
Ciudad Fernández	43,528
TOTAL	**1,435,130**

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, 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 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.

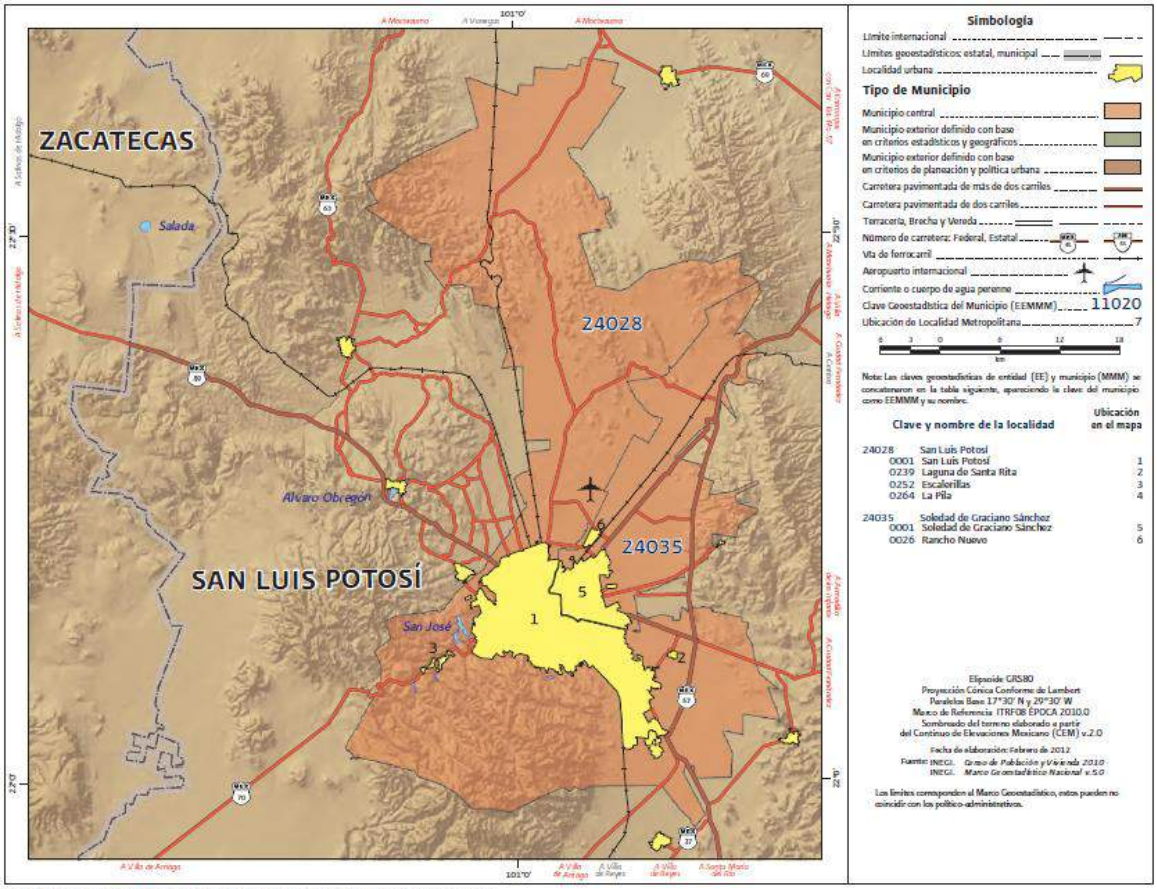
En el estado existen dos zonas metropolitanas que son:

Tabla 7.12 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		1990-2000	2000-2010		
ZM	658 712	850 828	1 040 443		2,6	2,0	1 787,7	105,9
SLP	525 733	670 532	772 604		2,5	1,4	1 482,0	103,5
SGS	132 979	180 296	267 839		3,1	3,9	305,7	112,8

[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.

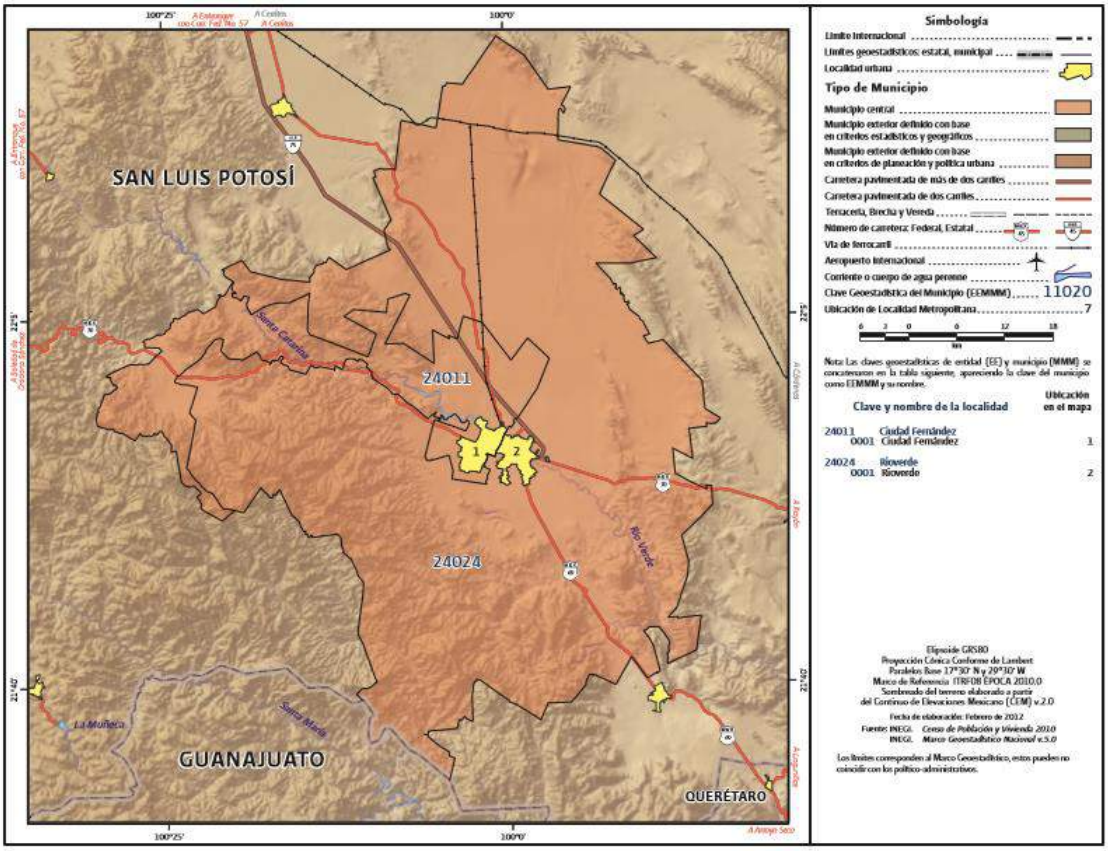
Mapa 7.11 ZM San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez

Tabla 7.13 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 7.12 ZM 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.

> "La contribución de las áreas urbanas a la alteración de las condiciones climáticas globales resulta de factores múltiples que incluyen la situación geográfica y demográfica, el tejido económico de la ciudad, su diseño y densidad poblacional, su tipología constructiva, su modo de organización del transporte, sus opciones para la producción de electricidad y el modo de climatización de sus edificios, además de los patrones de consumo de sus habitantes, un aspecto con alta variación social y cultural" (ONU-HABITAT, 2012).

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 estado de San Luis Potosí se recolectan 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 7.14 Recolección de RSU por municipio generadores más importantes.

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:

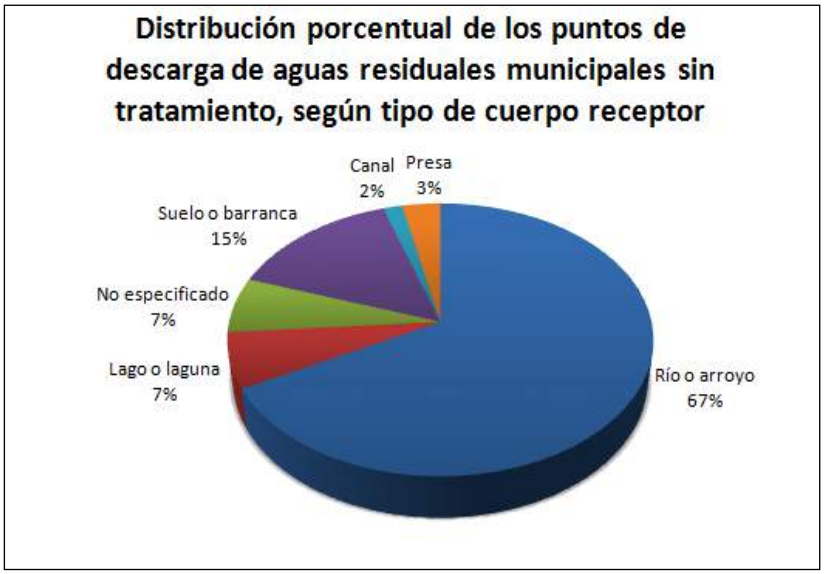


Fig. 7.5 distribución porcentual de los puntos de descarga de aguas residuales municipales, según tipo de cuerpo receptor.

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 (ONU-HABITAT, 2012).

Algunos de los riesgos más representativos son los siguientes (ONU-HABITAT, 2012):

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 incluye 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 (ONU-HABITAT, 2012)..

Ante las amenazas presentes y potenciales derivadas del cambio climático, es importante actuar con urgencia a fin de salvaguardar la vida de las personas y sus medios de sustento, incorporando en los sistemas urbanos la capacidad de adaptación necesaria ante los futuros riesgos (ONU-HABITAT, 2012).

Entre las principales medidas que sugerimos considerar destacan las siguientes:

Estrategias generales:

Promover la inclusión de los aspectos sobre cambio climático en los instrumentos de planeación de los diferentes niveles de gobierno.

Construir una sociedad informada sobre los diferentes aspectos del cambio climático, mediante la implementación de programas permanentes de difusión y sensibilización.

Incorporar el tema ambiental en los planes formales de estudio en los diferentes niveles académicos.

Implementar una estrategia de comunicación y vinculación gobierno-sociedad para dar viabilidad a las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

Incorporar los escenarios climáticos desarrollados en el PEACC, ECCST, como elementos importantes en la definición de las políticas públicas en la entidad.

Establecer acciones concretas en base a los resultados obtenidos en el PEACC para la mitigación de los potenciales impactos y la adaptación al cambio climático en los diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos.

Fomentar la reducción de las emisiones de GEI y la mejora de los sumideros de carbono, el uso sustentable y socialmente responsable del suelo, así como a la reingeniería de las actividades urbanas e industriales que emiten GEI y generan condiciones de vulnerabilidad.

Elaborar y actualizar de manera permanente el inventario de emisiones de gases de Efecto Invernadero (GEI's).

Reducir las emisiones de GEI a través del desarrollo tecnológico y el uso de nuevas tecnologías que hagan más eficiente el consumo de insumos no renovables.

Proteger y restaurar los ecosistemas y la biodiversidad para fortalecer su resiliencia ante el Cambio Climático

Implementar programas en las diferentes regiones del estado para prevenir y reducir los riesgos para la salud relacionados con el efecto del cambio climático.

Administrar integralmente el recurso hídrico considerando los efectos del Cambio Climático.

Fomentar e impulsar acciones para el uso eficiente de recursos naturales, considerando los efectos del Cambio Climático.

Fortalecer la capacidad adaptativa de los grupos económica y geográficamente vulnerables ante los impactos del cambio climático.

Desarrollar de la cultura del agua de acuerdo a las características de la región y el Estado.

Planear integralmente el uso y manejo del agua, mediante la vinculación interdisciplinaria, interinstitucional y la participación social.

Fomentar proyectos productivos sustentables en las diferentes regiones del estado.

Promover la reconversión de cultivos y tecnologías en función de la disponibilidad de agua.

Modernizar la infraestructura agrícola y tecnificar las superficies en producción.

Recuperar y mejorar la cobertura vegetal y los suelos.

Se puede concluir que en la mayoría de los países se le ha dado una mayor importancia al tema del cambio climático, de hecho hay evidencia que en algunos casos se tienen avances significativos en la evaluación de los riesgos. Sin embargo, es importante dar el siguiente paso, el cual tiene que ver con la definición de estrategias específicas de adaptación para cada país y/o región. Sin lugar a dudas es un paso muy complicado, y que tiene diversas implicaciones dependiendo de la región de que se trate y de las capacidades de los gobiernos y de la misma población para enfrentarlo.

El financiamiento para la adaptación en los países en desarrollo proviene principalmente de dos fuentes: los fondos destinados al cambio climático de la Convención Marco de la Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) y a través de la ayuda procedente del extranjero para el desarrollo. Aunque es importante mencionar que los fondos han sido insuficientes y no se destinan a los asentamientos humanos (áreas urbanas).

Algunos de los mecanismos de financiamiento de la CMNUCC son los siguientes:

Fondo Especial para el Cambio Climático.

Fondo para los Países Menos Desarrollados.

Fondo para la Adaptación.

7.4 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 (Mapa 7.15) industriales, resaltando los existentes en el estado en cuestión.

Tabla 7.15 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.

Fig. 7.6. 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 azucares, 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.

Fig, 7.7 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 proceso 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 tocador, 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, industrias 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 at 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.

SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO.

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 (Figura 1).

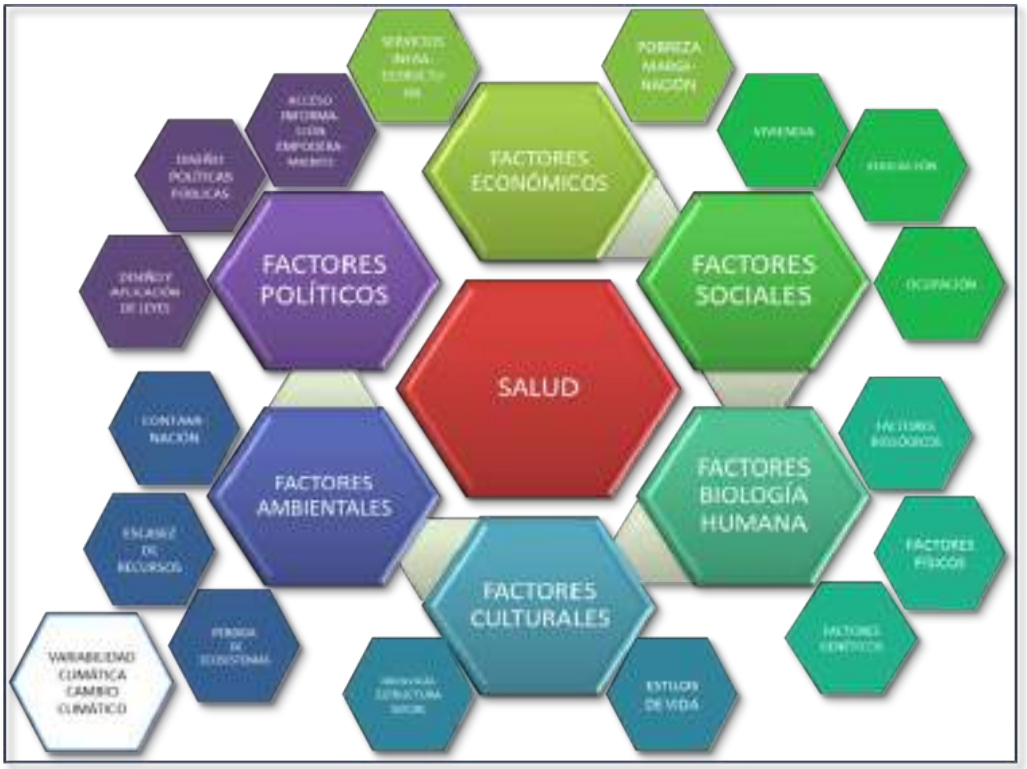


Figura 1. Conceptualización holística e integral de la salud.

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 los diferentes riesgos y amenazas del entorno, como pudieran ser, entre otros, 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. Por lo tanto, 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 efectivamente se perfilen al alcance y preservación de la salud y calidad de vida de los seres humanos.

2. 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 ha repercutido en 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 inundación, favoreciendo que los sedimentos contaminados impacten áreas urbanas, o dispersando en el ambiente materiales tóxicos almacenados en bodegas, talleres, etc.; por 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; o favoreciendo la exposición a partículas e hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP) durante eventos de incendios forestales; por aumento en la temperatura, facilitando la volatilidad de compuestos como los orgánicos semivolátiles o el mercurio elemental; por las modificaciones de los patrones de distribución espacial de 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.

3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.

El presente estudio se centra en la generación de un diagnóstico integral de salud 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, leptospirosis, dengue, paludismo, tos ferina y sarampión), 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 2).

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).

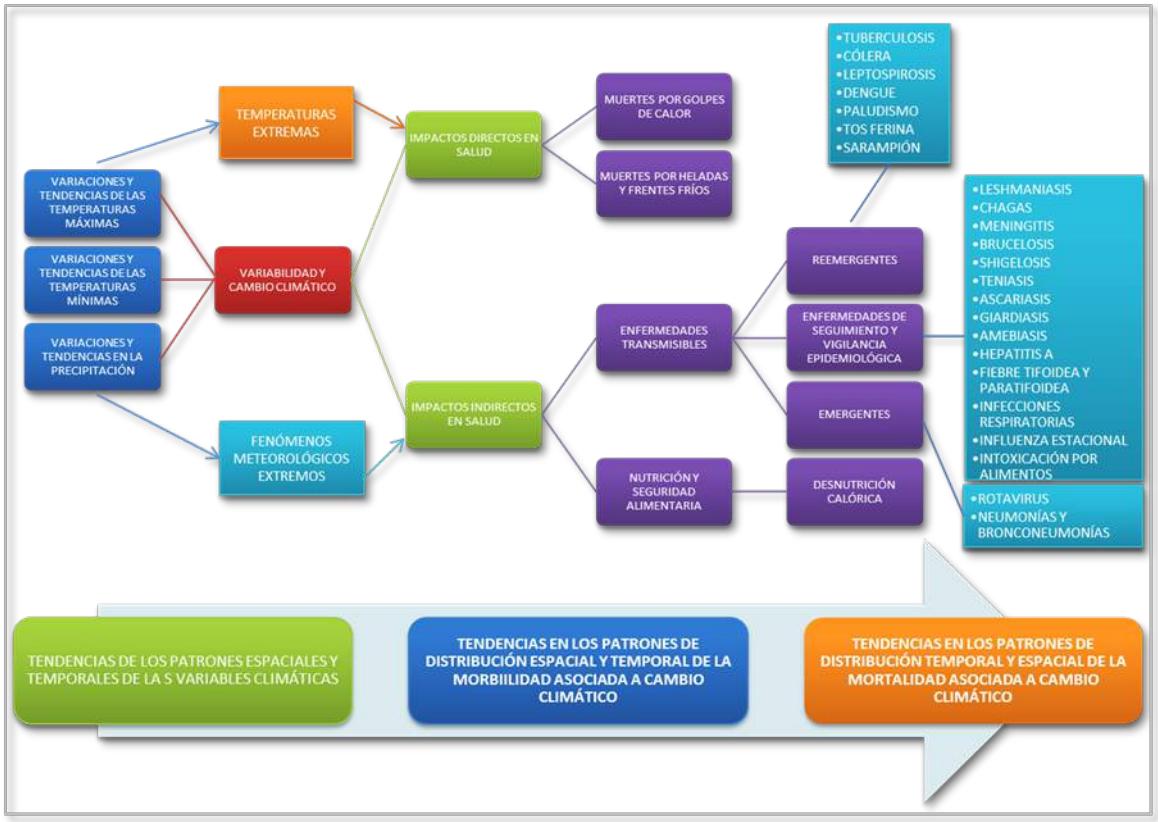


Figura 2. Esquema metodológico de los factores climáticos y de salud evaluados.

Para la identificación de patrones de distribución espacial y temporal de las variables meteorológicas (temperaturas máximas, mínimas y precipitación) 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 derechohabiencia 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.

4. RESULTADOS.

4.1. 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 total que fluctúan de los 2358 mm a los 136859 mm, considerando todo el Estado. De acuerdo a 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 (de los 136859 mm a los 14990 mm) más altos de la entidad, mientras que la región Altiplano exhibió los valores de precipitación total más bajos (2358 mm, 3883 mm, 3068 mm, 4140 mm, 4150 mm) 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), mientras que 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) (Tabla 1).

Tabla 1. Promedios de la temperatura máxima y mínima, y valores totales de precipitación, en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí, según municipios y regiones.

Cve Región	Cve Mpio	Municipios	Prom Tmáx °C	Precip tot (mm)	Prom Tmín °C
1	6	Catorce	29.8	2358	2.8
1	7	Cedral	32.6	4884	2.6
1	15	Charcas	29.3	6409	5.0
1	17	Guadalcázar	29.4	7784	5.9
1	20	Matehuala	31.6	4612	5.9
1	22	Moctezuma	34.3	4150	4.0
1	25	Salinas	29.3	5641	2.9
1	33	Santo Domingo	31.9	6079	2.5
1	44	Vanegas	33.9	3068	2.7
1	45	Venado	31.1	4586	3.3
1	47	Villa de Guadalupe	32.9	4577	7.3
1	48	Villa de la Paz	31.4	4833	6.0
1	49	Villa de Ramos	32.0	4140	8.7
1	51	Villa Hidalgo	33.2	3883	4.5
1	56	Villa de Arista	33.5	5854	5.1

Cve Región	Cve Mpio	Municipios	Prom Tmáx °C	Precip tot (mm)	Prom Tmín °C
2	1	Ahualulco	31.2	4895	7.8
2	4	Armadillo de los Infante	32.5	9333	6.2
2	9	Cerro de San Pedro			
2	21	Mexquitic de Carmona	31.2	4895	7.8
2	28	San Luis Potosí	30.9	5609	3.5
2	32	Santa María del Río	30.6	6202	8.0
2	35	Soledad de Graciano Sánchez	31.6	4612	5.9
2	43	Tierra Nueva	32.3	5742	4.8
2	46	Villa de Arriaga	34.8	4722	6.9
2	50	Villa de Reyes	31.4	5520	7.0
2	55	Zaragoza	32.4	5072	4.0

Cve Región	Cve Mpio	Municipios	Prom Tmáx °C	Precip tot (mm)	Prom Tmín °C
3	2	Alaquines	29.0	12652	1.8
3	5	Cárdenas	32.9	9135	9.9
3	8	Cerritos	32.8	9262	8.5
3	10	Ciudad del Maíz	34.5	7267	4.2
3	11	Ciudad Fernández	36.0	8006	9.9
3	19	Lagunillas	34.2	9329	9.9
3	23	Rayón			
3	24	Rioverde	36.0	8006	9.9
3	27	San Ciro de Acosta	37.5	8397	11.1
3	30	San Nicolás Tolentino	32.5	9333	6.2
3	31	Santa Catarina	37.3	13103	11.0
3	52	Villa Juárez	34.9	11088	5.6

Cve Región	Cve Mpio	Municipios	Prom Tmáx °C	Precip tot (mm)	Prom Tmín °C
4	3	Aquismón	37.8	30437	15.0
4	12	Tancanhuitz	39.3	25536	14.4
4	13	Ciudad Valles	38.1	18264	13.6
4	14	Coxcatlán			
4	16	Ebano	36.7	11169	14.9
4	18	Huehuetlán	36.5	30417	12.8
4	26	San Antonio	43.6	21677	6.3
4	29	San Martín Chalchicuautla	33.8	20121	12.7
4	34	San Vicente Tancuayalab	37.0	15288	15.1
4	36	Tamasopo	35.5	25365	12.5
4	37	Tamazunchale	35.8	26146	14.5
4	38	Tampacán			
4	39	Tampamolón Corona	36.2	20730	15.9
4	40	Tamuín	38.4	10604	14.3
4	41	Tanlajás	43.6	21677	6.3
4	42	Tanquián de Escobedo	37.2	16631	15.1
4	53	Axtla de Terrazas	35.3	28092	13.8
4	54	Xilitla	34.6	136859	8.4
4	57	Matlapa	38.2	7167	14.4
4	58	El Naranjo	36.4	14990	10.8

1 Región Altiplano

2 Zona Centro

3 Zona Media

4 Región Huasteca

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 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 frío), 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 (↑Tx, ↑Tn, ↑Pp), 24% de los municipios; 2) Días y noches más fríos con más lluvia (↓Tx, ↓Tn, ↑Pp), 20% de los municipios; 3) Días más calientes y noches más frías con más lluvia (↑Tx, ↓Tn, ↑Pp), 19% de los municipios; y 4) Días más fríos, noches más calientes y más lluvia (↓Tx, ↑Tn, ↑Pp), 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 (↑Tx, ↑Tn, ↓Pp), en 7% de los municipios; 6) Días más fríos y noches más calientes con menos lluvia (↓Tx, ↑Tn, ↓Pp), en 7% de los municipios; 7) Días y noches más fríos con menos lluvia (↓Tx, ↓Tn, ↓Pp), 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 Región	Cve Mpio	Municipios	Prom Tx °C	Pp tot (mm)	Prom Tn °C	Tend prom Tx	Tend Pp tot	Tend prom Tn
1	6	Catorce	29.8	2358	2.8	-0.14	-13.10	-0.24
1	7	Cedral	32.6	4884	2.6	0.12	2.15	0.25
1	15	Charcas	29.3	6409	5.0	-0.04	15.42	0.37
1	17	Guadalcázar	29.4	7784	5.9	0.17	-36.63	0.33
1	20	Matehuala	31.6	4612	5.9	-0.44	6.29	-0.12
1	22	Moctezuma	34.3	4150	4.0	-0.10	13.48	-0.17
1	25	Salinas	29.3	5641	2.9	0.01	7.83	0.12
1	33	Santo Domingo	31.9	6079	2.5	0.54	-7.96	-0.44
1	44	Vanegas	33.9	3068	2.7	-0.25	11.02	-0.08
1	45	Venado	31.1	4586	3.3	-0.19	7.98	0.02
1	47	Villa de Guadalupe	32.9	4577	7.3	-0.12	-15.41	-0.15
1	48	Villa de la Paz	31.4	4833	6.0	-0.11	13.64	-0.26
1	49	Villa de Ramos	32.0	4140	8.7	-0.48	6.44	0.17
1	51	Villa Hidalgo	33.2	3883	4.5	0.07	10.51	0.22
1	56	Villa de Arista	33.5	5854	5.1	0.23	20.72	0.01
2	1	Ahualulco	31.2	4895	7.8	-0.09	6.26	-0.24
2	4	Armadillo de los Infante	32.5	9333	6.2	0.02	-4.62	0.06
2	9	Cerro de San Pedro						
2	21	Mexquitic de Carmona	31.2	4895	7.8	0.12	1.22	-0.05
2	28	San Luis Potosí	30.9	5609	3.5	0.12	1.22	-0.05
2	32	Santa María del Río	30.6	6202	8.0	-0.33	-2.88	0.36
2	35	Soledad de Graciano Sánchez	31.6	4612	5.9	-0.44	6.29	-0.12
2	43	Tierra Nueva	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 Reyes	31.4	5520	7.0	-0.06	-5.63	0.06
2	55	Zaragoza	32.4	5072	4.0	0.15	12.64	0.14
3	2	Alaquines	29.0	12652	1.8	0.10	9.35	-0.05
3	5	Cárdenas	32.9	9135	9.9	0.08	19.49	0.19
3	8	Cerritos	32.8	9262	8.5	0.46	8.43	-0.27
3	10	Ciudad del Maíz	34.5	7267	4.2	-0.23	-8.51	0.19
3	11	Ciudad Fernández	36.0	8006	9.9	0.06	21.84	0.00
3	19	Lagunillas	34.2	9329	9.9	0.17	12.32	-0.07
3	23	Rayón						
3	24	Rioverde	36.0	8006	9.9	0.06	21.84	0.00
3	27	San Ciro de Acosta	37.5	8397	11.1	0.09	23.01	-0.14
3	30	San Nicolás Tolentino	32.5	9333	6.2	0.02	-4.62	0.06
3	31	Santa Catarina	37.3	13103	11.0	0.02	15.17	-0.11
3	52	Villa Juárez	34.9	11088	5.6	0.17	-2.42	0.05
4	3	Aquismón	37.8	30437	15.0	0.10	21.13	-0.01
4	12	Tancanhuitz	39.3	25536	14.4	-0.02	0.06	-0.01
4	13	Ciudad Valles	38.1	18264	13.6	-0.08	33.34	-0.09
4	14	Coxcatlán						
4	16	Ebano	36.7	11169	14.9	-0.21	29.00	0.08
4	18	Huehuetlán	36.5	30417	12.8	0.10	11.59	0.10
4	26	San Antonio	43.6	21677	6.3	-0.03	15.13	-0.30
4	29	San Martín Chalchicuautla	33.8	20121	12.7	0.20	94.43	0.18
4	34	San Vicente Tancuayalab	37.0	15288	15.1	-0.08	26.48	0.02
4	36	Tamasopo	35.5	25365	12.5	-0.21	25.53	-0.31
4	37	Tamazunchale	35.8	26146	14.5	0.03	32.45	-0.05
4	38	Tampacán						
4	39	Tampamolón Corona	36.2	20730	15.9	-0.18	-11.25	-0.28
4	40	Tamuín	38.4	10604	14.3	0.04	70.31	-0.09
4	41	Tanlajás	43.6	21677	6.3	-0.03	15.13	-0.30
4	42	Tanquián de Escobedo	37.2	16631	15.1	0.19	38.77	0.20
4	53	Axtla de Terrazas	35.3	28092	13.8	-0.05	17.03	0.12
4	54	Xilitla	34.6	136859	8.4	0.07	137.50	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

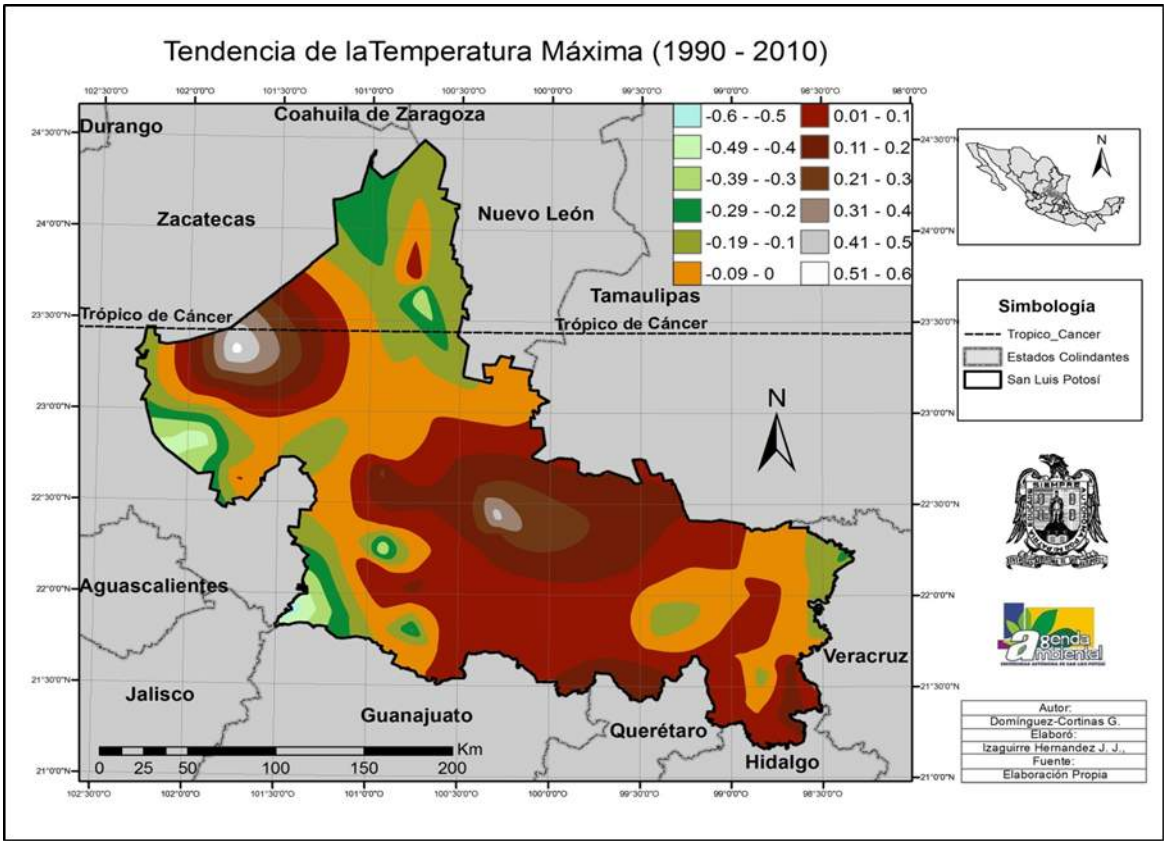
Tabla 2. Resultados de las tendencias de la temperatura máxima promedio (Tx), temperatura mínima promedio (Tn) y precipitación total (Pp) por municipios y regiones, en el periodo de 1996 a 2010, en el estado de San Luis Potosí.

Tabla 3. Patrones climáticos identificados por regiones para el estado de 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%
días y noches más calientes_más lluviosos	13/54 mpios 24%	días y noches más fríos_menos lluviosos	3/54 mpios 6%	días y noches más calientes_menos lluviosos	4/54 mpios 7%	días y noches más fríos_más lluviosos	11/54 mpios 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
días más calientes_noches más frías_más lluviosos	10/54 mpios 19%	días más calientes_noches más frías_menos lluviosos	3/54 mpios 6%	días más fríos_noches más calientes_más lluviosos	6/54 mpios 11%	días más fríos_noches más calientes_menos lluviosos	4/54 mpios 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 3. Tendencias de la temperatura máxima promedio de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

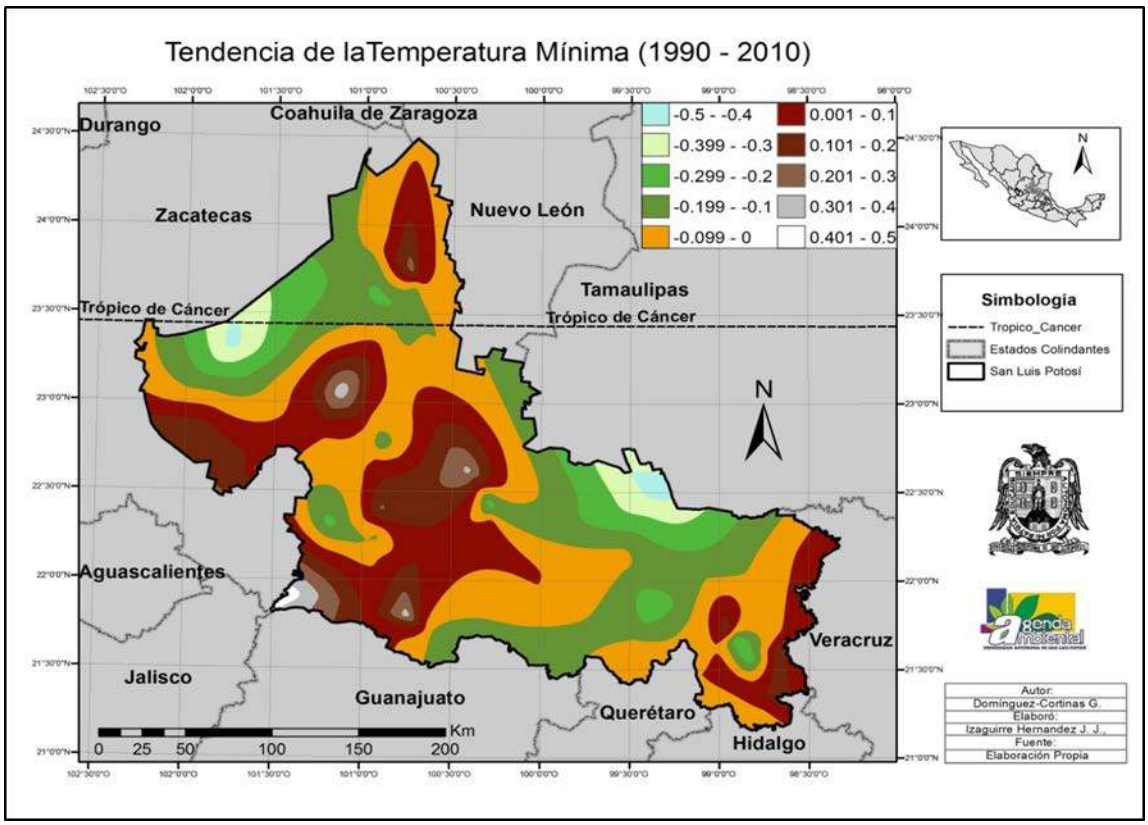


Mapa 1. Tendencias de la temperatura máxima promedio en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2010.

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).

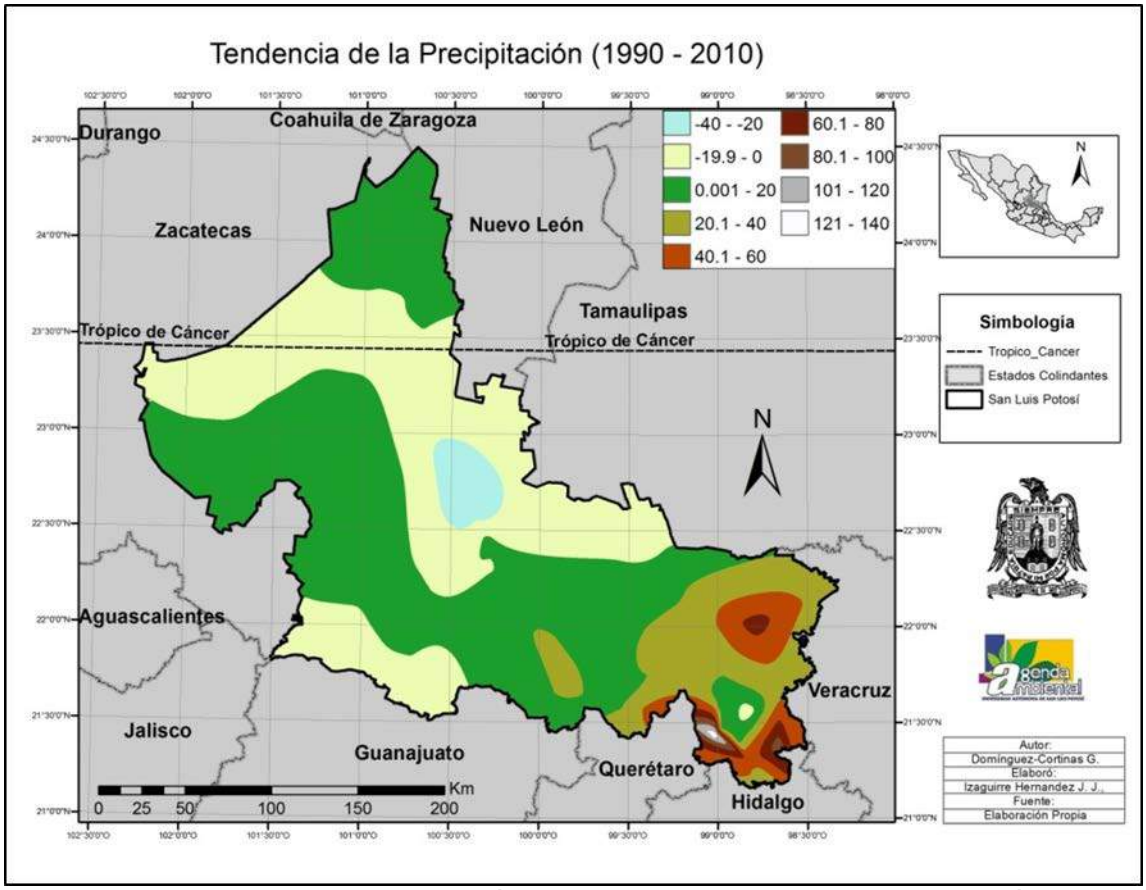
Figura 4. Tendencias de la temperatura mínima promedio de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 2. 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 más bajas (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 elevadas (Mapa 3). 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 5, Mapa 3).

Figura 5. Tendencias de la precipitación total por municipio en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2010.



Mapa 3. Tendencias de la precipitación total en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2011.

4.2. 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).

Figura 6. 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).

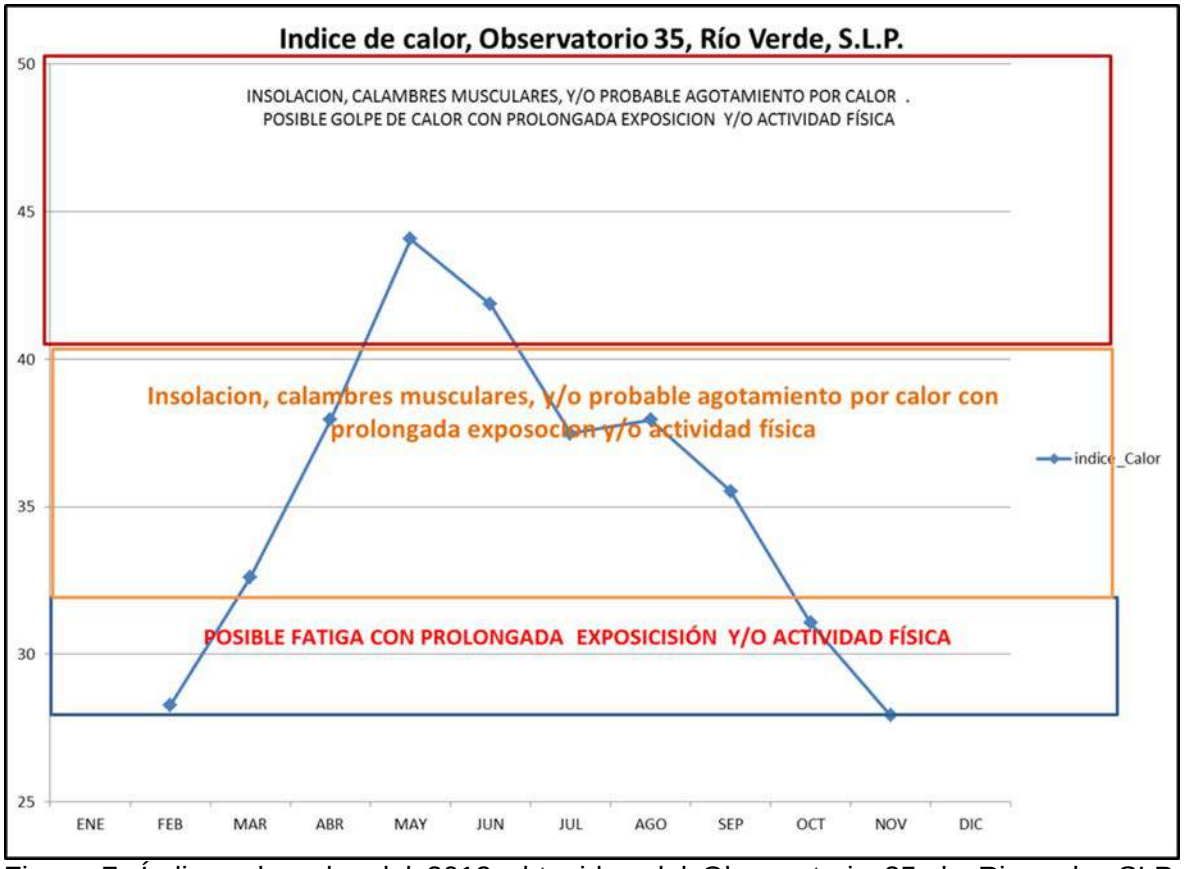


Figura 7. Índices de calor del 2012 obtenidos del Observatorio 35 de Rioverde, SLP. (Cortesía de MC. Medina-Barrios M., P., UNAM, enero 2013).

4.3. 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.

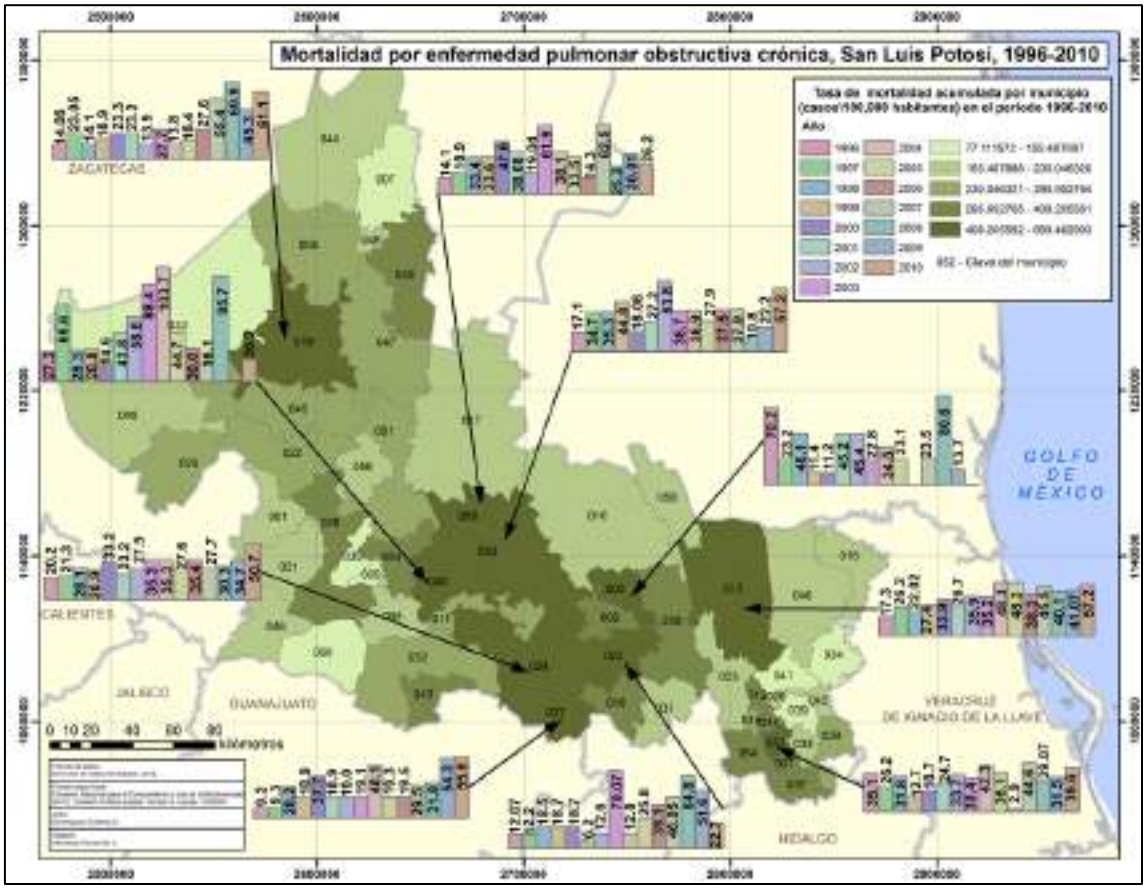
Cabe mencionar que en todo el periodo de estudio (1996 a 2010) no se reportó ninguna muerte por paludismo en el Estado por lo que dicha causa de mortalidad no fue analizada. De igual manera, otras de las enfermedades evaluadas en los mismos años, mostraron tasas de mortalidad sumamente bajas, siendo éste el caso del dengue, que presentó una tasa de mortalidad de 3/100 000 hab., equivalente a un total de 5 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, únicamente en los municipios de Armadillo de los Infantes y San Luis Potosí, fueron registradas 4 muertes por dicha enfermedad (una en Armadillo de los Infantes y 3 en San Luis Potosí), mostrando tasas de mortalidad de 19 y 0,45/100 000 hab., durante los años de 1997, y 1996, 1999 y 2004 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, 12 y 11/100 000 hab., respectivamente), seguidos por Xilitla (8/100 000 hab.), Axtla de Terrazas (6/100 000 hab.), Ciudad Valles (4,5/100 000 hab.) y Tamazunchale (5/100 000 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.

Las principales causas de mortalidad identificadas en el Estado durante los 15 años de estudio dadas sus altas tasas de mortalidad acumulada fueron, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (16 172/100 000 hab.), las infecciones respiratorias aguas de las vías bajas (IRA_VB) (11 825/100 000 hab.), y la desnutrición calórica (10 156/100 00 hab.); no obstante, de éstas tres únicamente la muerte por EPOC mostró una tendencia general a la alza (m=43,776; R^2=0,7322), con un 86% de los municipios de la entidad con tendencias positivas para esta causa de mortalidad (Figura 8, Mapa 4).

Figura 8. Tasas de mortalidad acumulada por EPOC en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 4. 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 (669,5/100 000 hab.), Ciudad Valles (532/100 000 hab.), Villa Juárez (509/100 000 hab.) y Cerritos (503/100 000 hab.); mientras que los municipios que acumularon las menores tasas de mortalidad fueron, Soledad de Graciano Sánchez (77/100 000 hab.) y Cerro de San Pedro (84,5/100 000 hab.) (Figura 9).

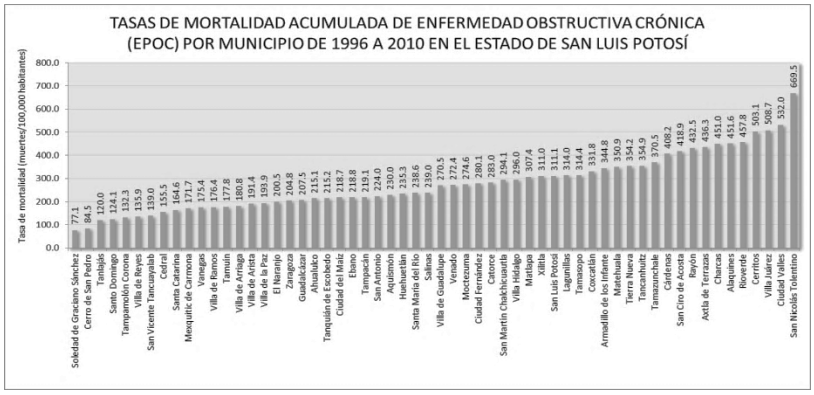


Figura 9. Tasas de mortalidad acumulada de EPOC por municipio durante el periodo de 1996 a 2010, en el estado de San Luis Potosí.

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 10).

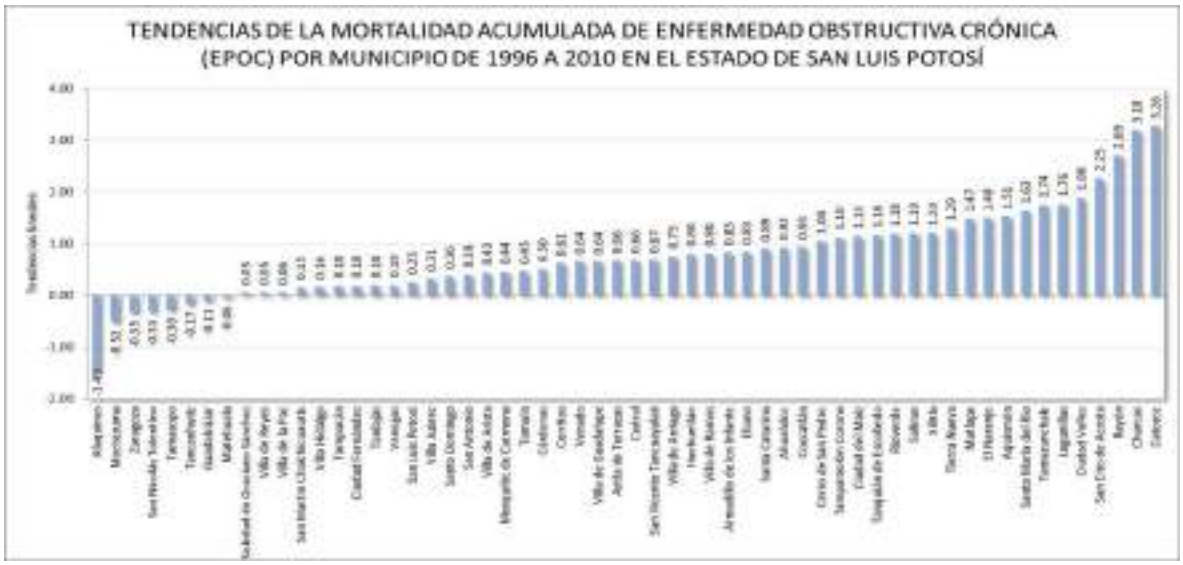
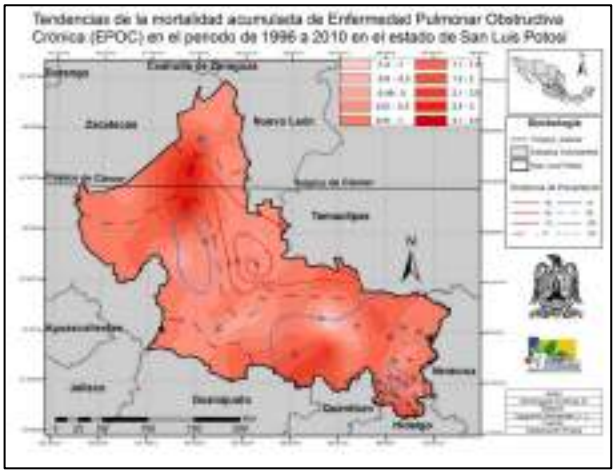


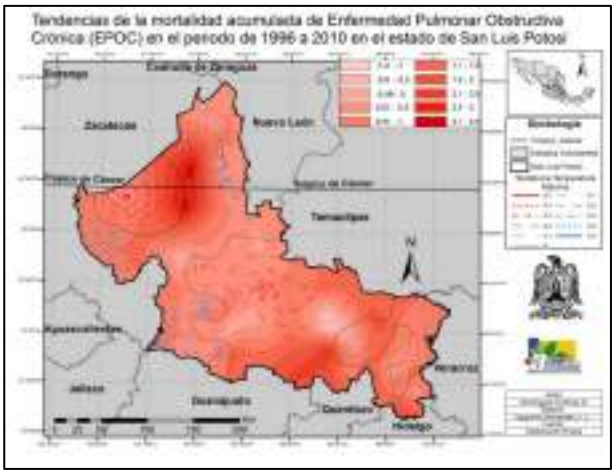
Figura 10. Tendencias de la mortalidad acumulada de asma por municipio en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

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 5, 6 y 7).

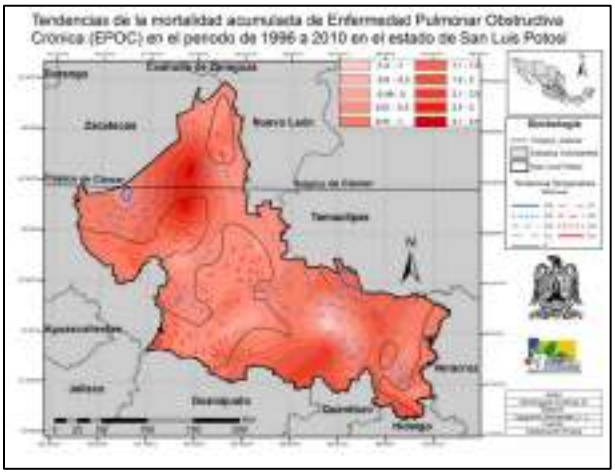
Las correlaciones de Spearman del conjunto de datos climáticos y de mortalidad por EPOC no resultaron estadísticamente significativas.



Mapa 5. 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. 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.



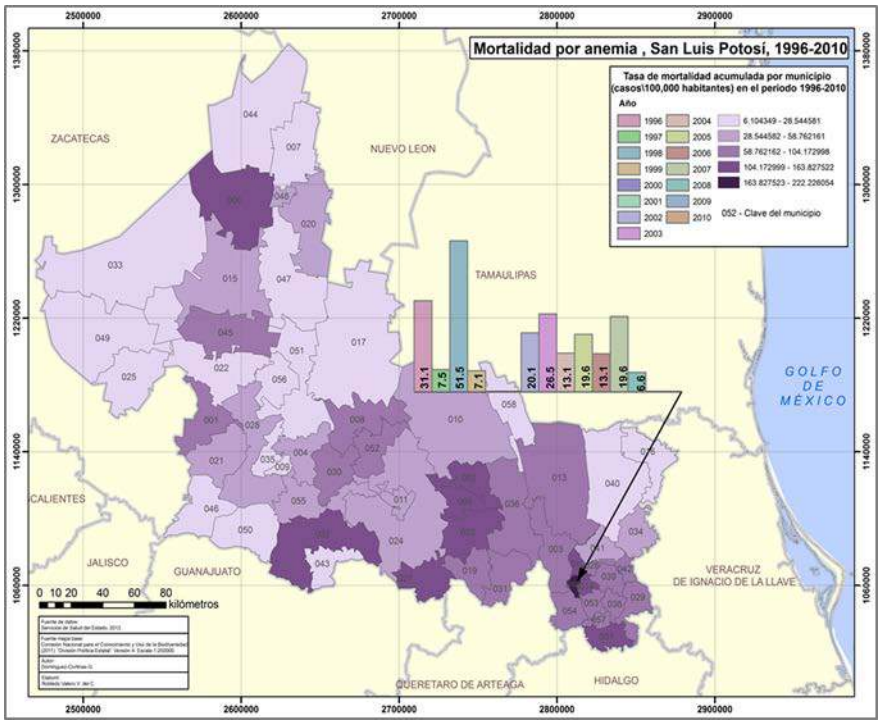
Mapa 7. Tendencias de la mortalidad por EPOC vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

La única otra causa de mortalidad evaluada que presentó tendencias positivas 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 muy ligera a la alza (m=0,218; R^2=0,0002), dejando ver una reducción importante de muertes entre 1999 y 2007, así como un repunte preocupante de las mismas en 2008 y 2010. Los años con el mayor número de muertes acumuladas por la enfermedad a nivel estatal fueron, 1998 (415/100 000 hab.), 2008 (346/100 000 hab.) y 2010 (336/100 000 hab.) (Figura 11).

Figura 11. 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 8), se identificó al municipio de Huehuetlán con la mayor tasa de mortalidad acumulada (222/100 000 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 (31/100 000 hab.), 1998 (52/100 000 hab.) y 2003 (27/100 000 hab.).

Después de Huehuetlán, los municipios de Alaquines (164/100 000 hab.), Tancanhuitz (147/100 000 hab.), Coxcatlán (133,5/100 000 hab.), Cárdenas (133/100 000 hab.) San Ciro de Acosta (128/100 000 hab.), Santa María del Río (125/100 000 hab.), Tamazunchale (122/100 000 hab.), Rayón (116,5/100 000 hab.), Catorce (111,5/100 000 hab.) y San Martín Chalchicuautla (104/100 000 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 (6/100 000 hab.), en los 15 años de estudio (Figura 12).



Mapa 8. Distribución de la mortalidad por anemia en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2010.

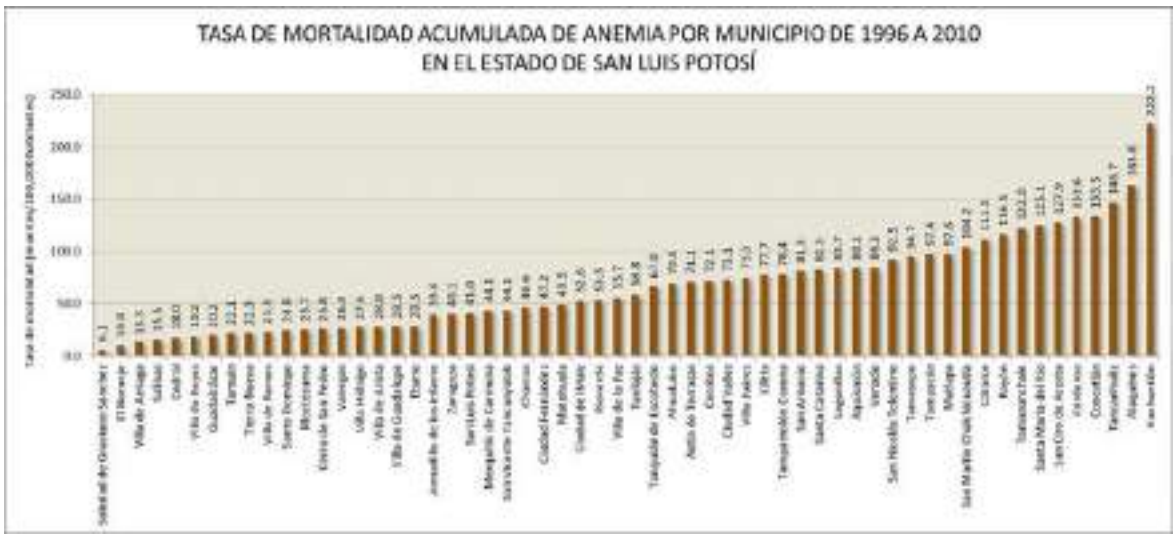


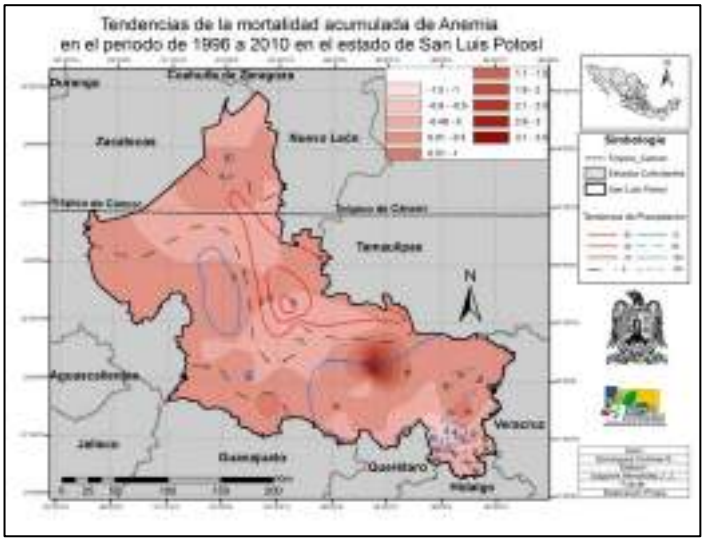
Figura 12. Tasas de mortalidad acumulada de anemia por municipio en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

No obstante lo anterior, resulta interesante resaltar que a pesar de que Huehuetlán 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, mismos

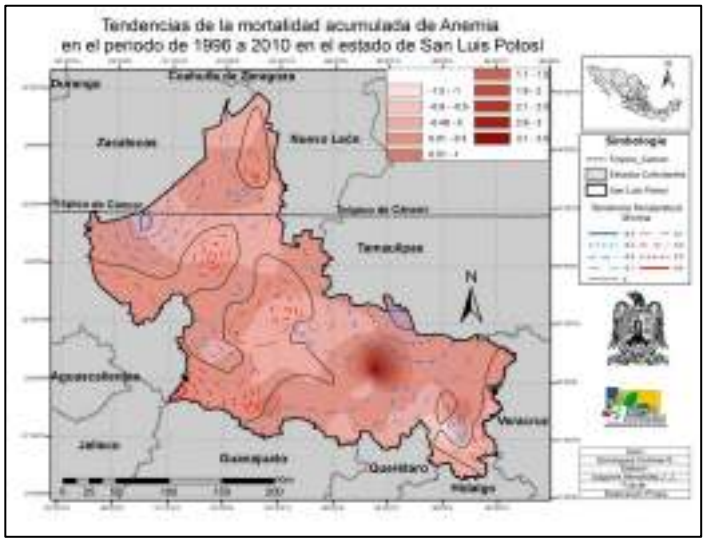
que a pesar de haber acumulado altas tasas de mortalidad en el periodo de estudio, también mostraron tendencias importantes a la baja. En el caso contrario, identificamos al municipio de Alaquines que no solo acumuló el segundo mayor número de muertes por anemia en la entidad, sino que también resultó el municipio con la mayor tendencia (m=3,49) al incremento de muertes por dicha enfermedad (Figura 13).

Figura 13. Tendencias de la mortalidad acumulada de anemia por municipio en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

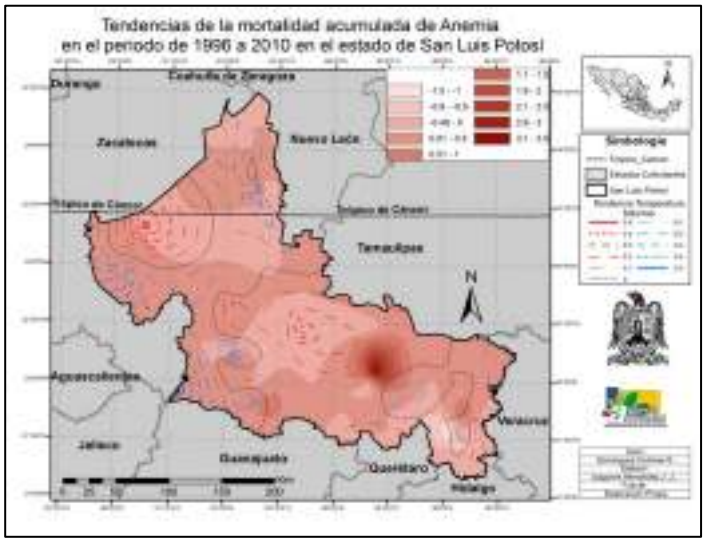
Incorporando a la información anterior las tendencias climáticas identificadas, fue posible detectar algunos indicios respecto a una posible relación entre las tendencias de los promedios de la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación total, con las tendencias al aumento de la mortalidad por anemia en los municipios más afectados por la misma. 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, de forma tal que 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 9, 10 y 11). En este caso, 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 9. 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 10. 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 11. 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=-7,76; R^2=0,4607), siendo los años que presentaron las mayores tasas de mortalidad, 1997 (301/100 000 hab.), 1998 (213/100 000 hab.) y 2000 (230/100 000 hab.) (Figura 14).

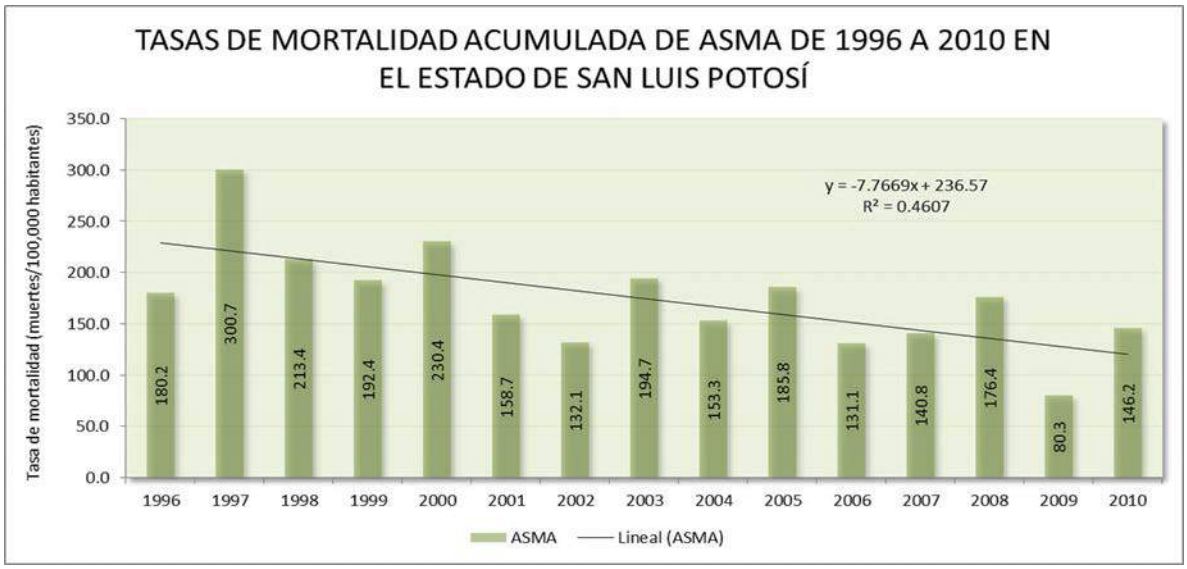
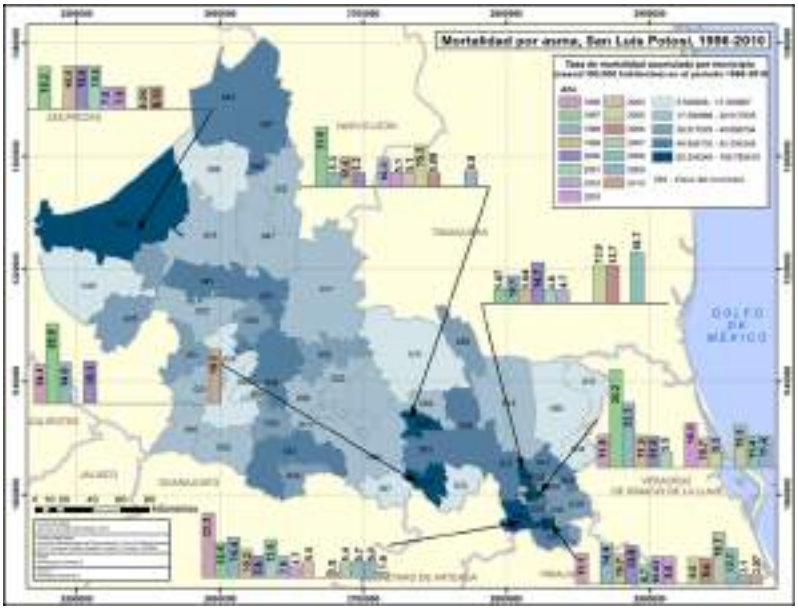


Figura 14. Tasas de mortalidad acumulada por asma en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

De acuerdo a la distribución espacial de la mortalidad por anemia en la entidad, los municipios con las tasas de mortalidad más elevadas, fueron Coxcatlán (170/100 000 hab.), Matlapa (134/100 000 hab.) y Xilitla (120/100 000 hab.), mientras que los municipios de Tamuín (6/100 000 hab.), San Ciro de Acosta (9/100 000 hab.), Santa Catarina (9/100 000 hab.) y Catorce (10/100 000 hab.) mostraron las tasas más bajas (Figura 15, Mapa 12).

Figura 15. Tasas de mortalidad de asma por municipio durante el periodo de 1996 a 2010.



Mapa 12. 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 16).

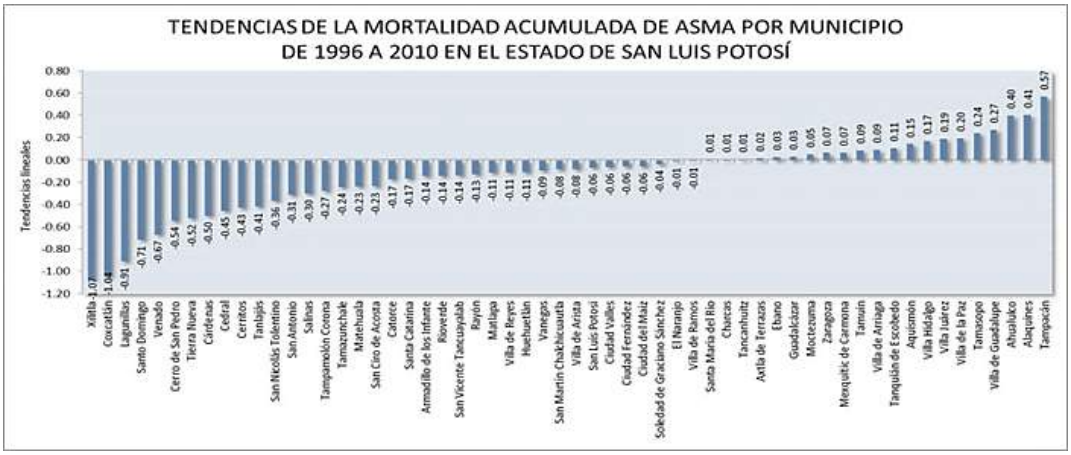
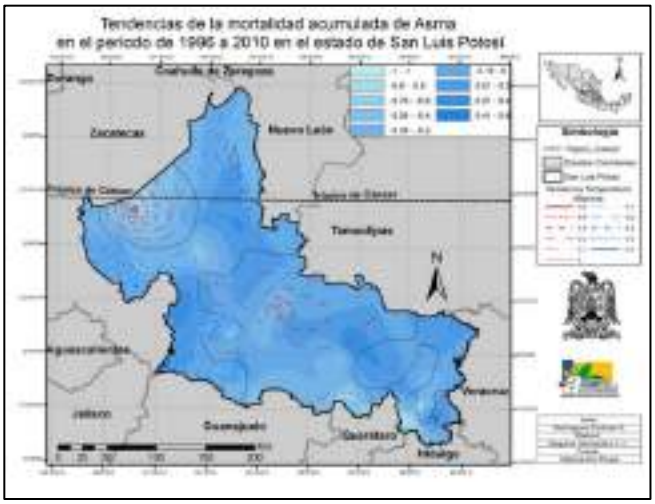
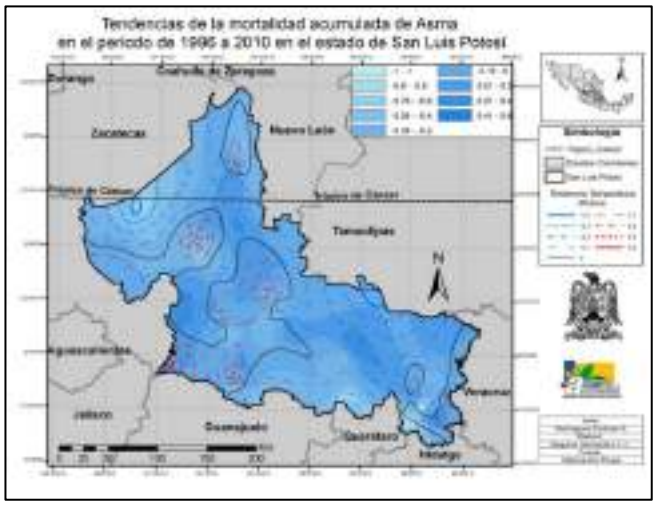


Figura 16. Tendencias de la mortalidad acumulada de asma por municipio en el periodo de 1996 a 2010.

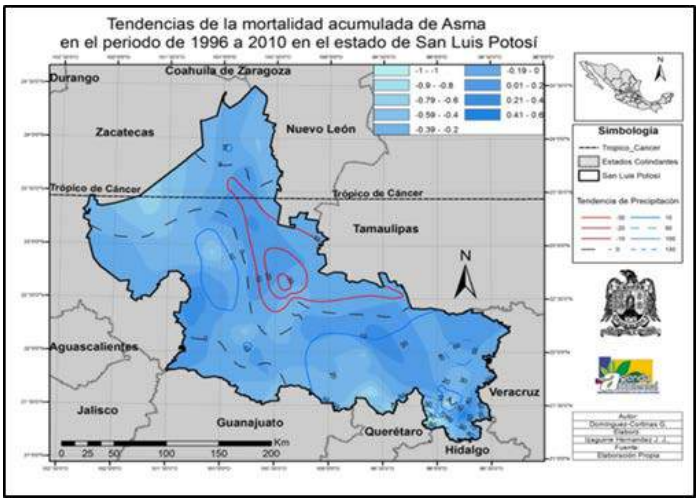
El análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de las tasas de mortalidad por asma en la entidad, arrojó resultados que mostraron un traslape entre los municipios con tendencias al aumento de muertes por asma y los municipios con tendencias al aumento de días y noches más fríos, con aumento 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 13, 14 y 15). 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 13. 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 14. 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 15. 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 4. 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 positivas										
↓	Tendencias negativas										

4.4. 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=24 995/100 000 hab.; dengue hemorrágico=382/100 000 hab.; tuberculosis=9 972/100 000 hab.; síndrome coqueluchoide=400/100 000 hab.), así como las tendencias al aumento de los casos de enfermedad (dengue clásico, m=91,67; R^2=0,0413; dengue hemorrágico, m=2,533;

R^2=0,1486; tuberculosis, m=12,738; R^2=0,2289; síndrome coqueluchoide, m=6,18; R^2=0,6893) en el periodo de 1996 al 2011 (Figuras 17, 18, 19 y 20).

Figura 17. Tendencias de las tasas incidencia acumulada de dengue clásico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 18. Tendencias de las tasas incidencia acumulada de dengue hemorrágico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

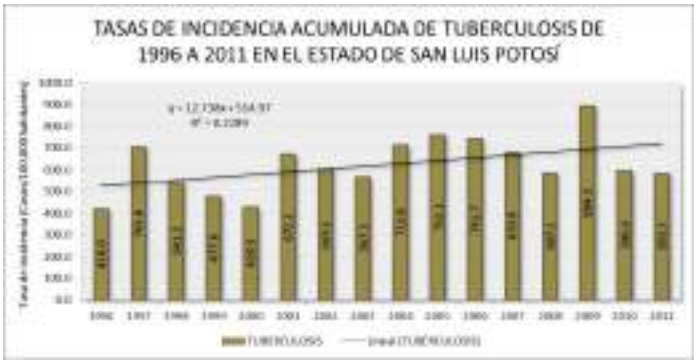
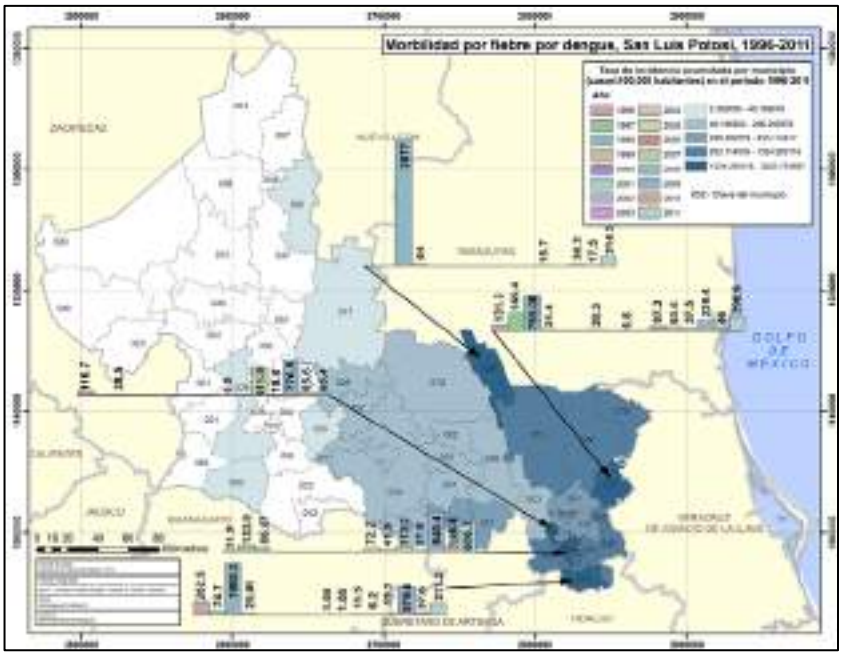


Figura 19. Tendencias de las tasas incidencia acumulada de tuberculosis en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 20. 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 (6 086/100 000 hab.), 2009 (5 709,9/100 000 hab.) y 2011 (5 441/100 000 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 16). Estos municipios fueron, El Naranjo (3 023/100 000 hab.), Tamazunchale (2 316/100 000 hab.), San Vicente Tancuayaláb (2 093/100 000 hab.), Axtla de Terrazas (2 083/100 000 hab.), Huehuetlán (1 692/100 000 hab.), San Martín Chalchicuautla (1 324/100 000 hab.) y Ciudad Valles (1 087/100 000 hab.) (Figura 21).



Mapa 16. Distribución de la morbilidad por dengue clásico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 21. 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 25 municipios (69%) con tendencias al aumento de la enfermedad, y solo 11 (31%) con tendencias a su disminución. De acuerdo a esto, los municipios con las mayores tendencias positivas fueron, Axtla de Terrazas (m=26,89), Huehuetlán (m=18,80), Xilitla (m=15,23) y San Martín Chalchicuautla (m=15,19), y los municipios con las tendencias negativas más importantes fueron, El Naranjo (m=-38,37), Tamazunchale (m=-9,73) y San Vicente Tancuayaláb (m=-9,34) (Figura 22).

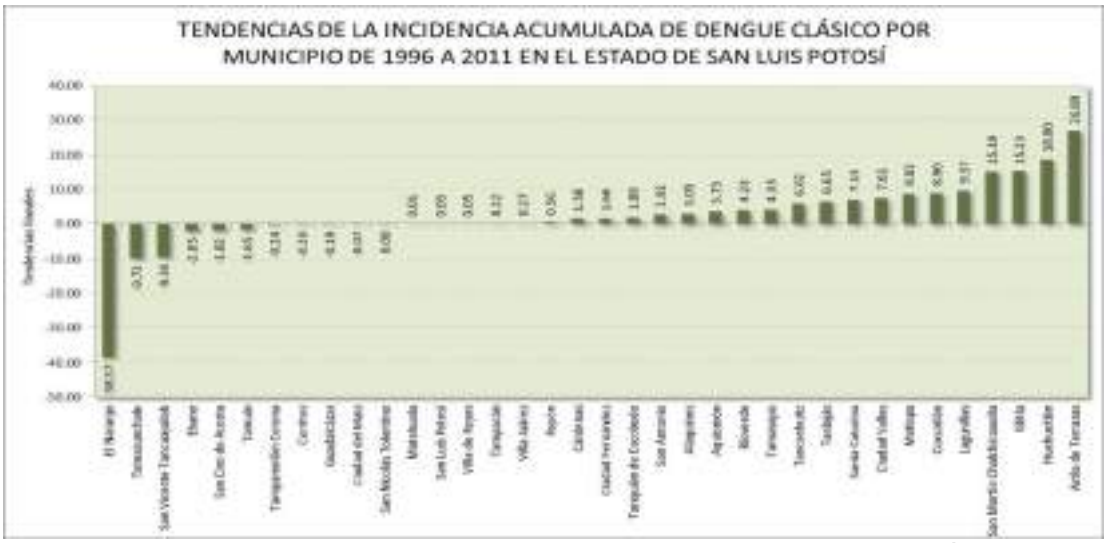
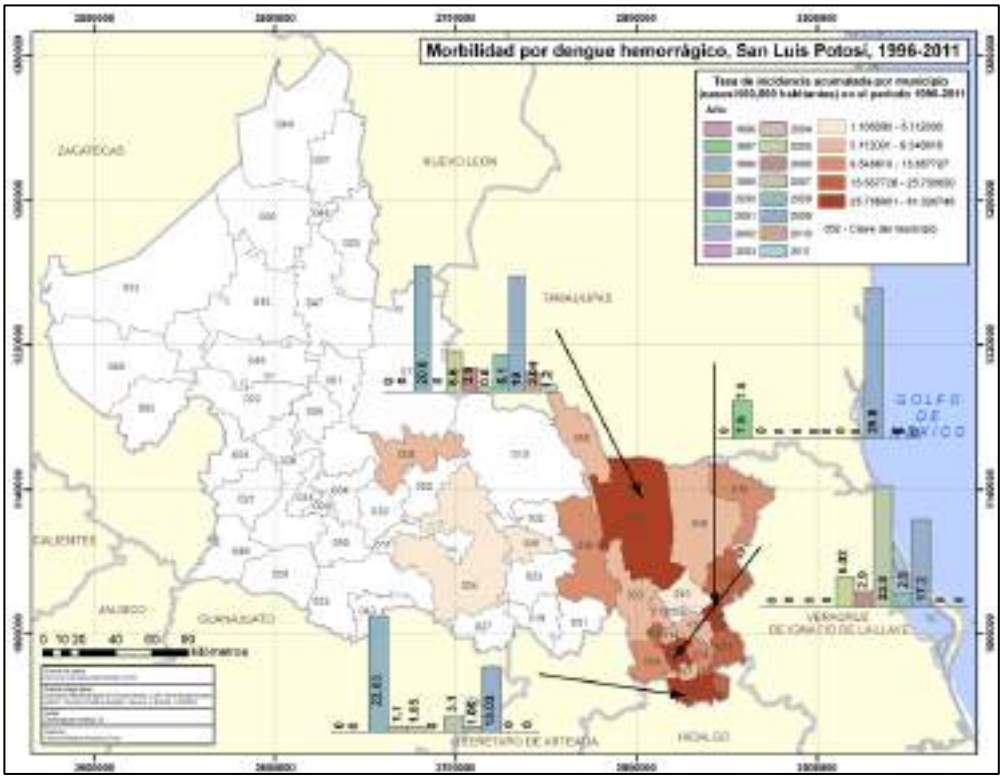


Figura 22. Tendencias de la incidencia acumulada de dengue clásico por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

El dengue hemorrágico tuvo un comportamiento similar al dengue clásico, mostrando las mayores tasas de incidencia acumulada en los años de 1998 (72/100 000 hab.), 2007 (62/100 000 hab.) y 2009 (106/100 000 hab.), e identificándose un patrón espacial en la distribución de la enfermedad que involucró al 38% (22/58) de los municipios del Estado, siendo nuevamente los de la región Huasteca los que presentaron las mayores tasas de incidencia acumulada por dengue hemorrágico como, Ciudad Valles (61/100 000 hab.), Axtla de Terrazas (53/100 000 hab.), Tamazunchale (42/100 000 hab.), Tanquián de Escobedo (37/100 000 hab.) y Huehuetlán (26/100 000 hab.) (Mapa 16, Figura 23).



Mapa 16. Distribución de la morbilidad por dengue hemorrágico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 23. 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), Tanquián de Escobedo (m=0,34), Huehuetlán (m=0,27), San Martín Chalchicuautla (m=0,24) y Ciudad Valles (m=0,21), y los tres municipios con tendencias negativas fueron, Cerritos (m=-0,15), Tamazunchale (m=-0,13) y Ébano (m=-0,01) (Figura 24).

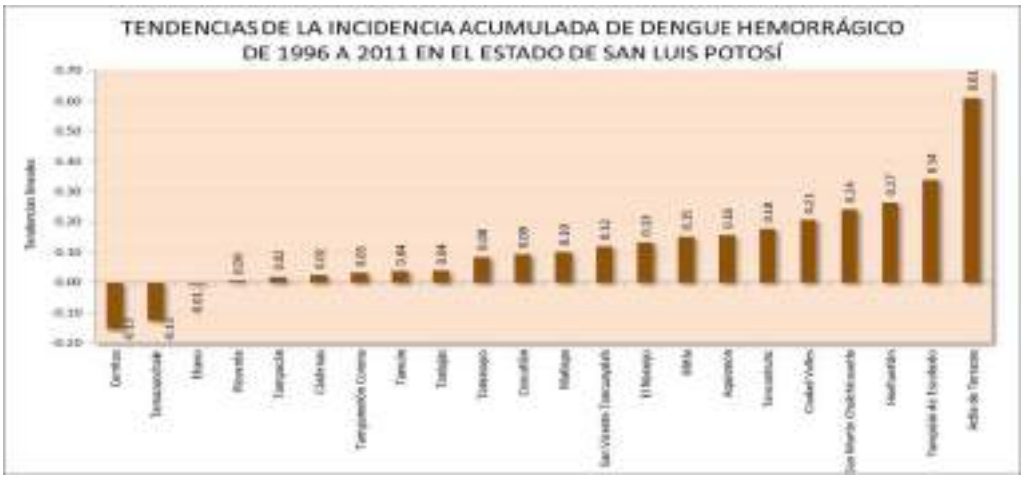
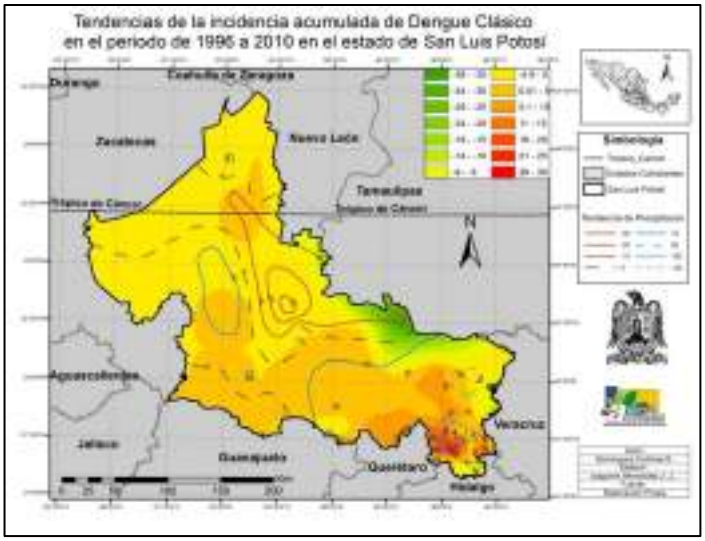
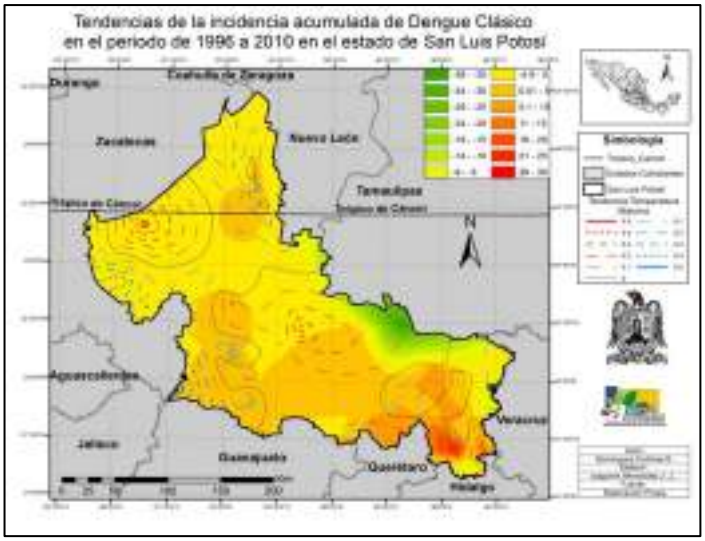


Figura 24. Tendencias de la incidencia acumulada de dengue hemorrágico por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

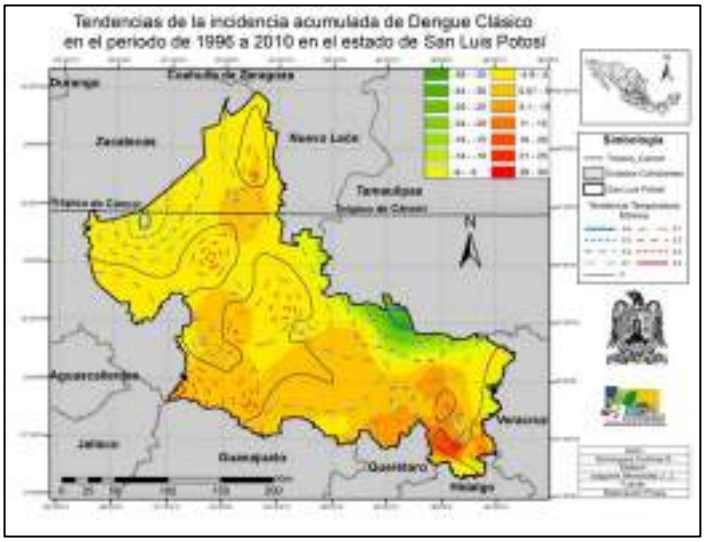
En el análisis comparativo de las tendencias de las variables climáticas con las tendencias de dengue clásico y hemorrágico, se identificó un traslape de las tendencias al incremento de las temperaturas máxima, mínima, y de la precipitación, con las tendencias al aumento en las tasas de incidencia de ambos tipos de dengue; en este sentido, el 50% y 47% de los municipios que presentaron tendencias al aumento de la incidencia por dengue clásico y hemorrágico respectivamente, también mostraron tendencias al aumento de días y noches más calientes con más lluvia (Mapas 17 – 22). Los resultados de las correlaciones de Spearman entre el conjunto de datos climáticos y de morbilidad a nivel estatal fueron estadísticamente significativos (Spearman=Tx=0,344**; Pp=0,500**; Tn=0,490**; p=0,007; 0,000; 0,000).



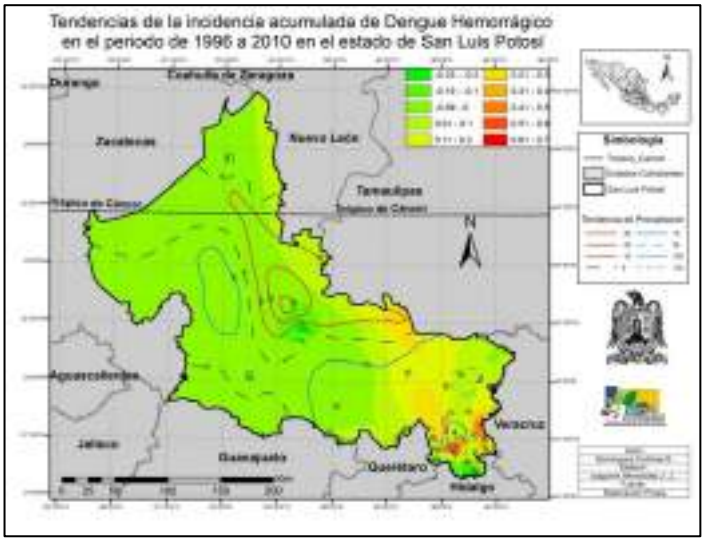
Mapa 17. Tendencias de la morbilidad por dengue clásico vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



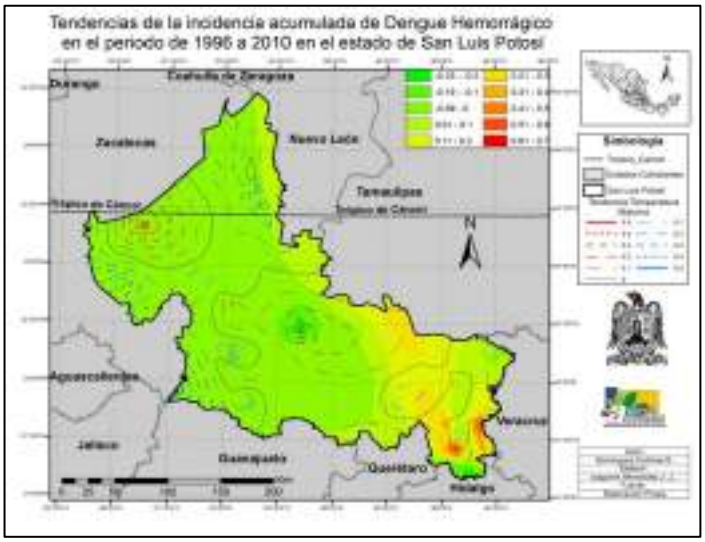
Mapa 18. Tendencias de la morbilidad por dengue clásico vs temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



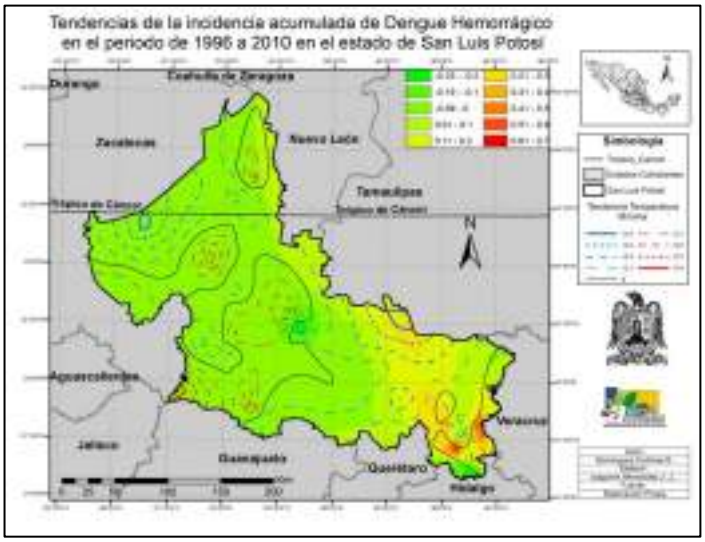
Mapa 19. Tendencias de la morbilidad por dengue clásico vs temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 20. 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 21. 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.



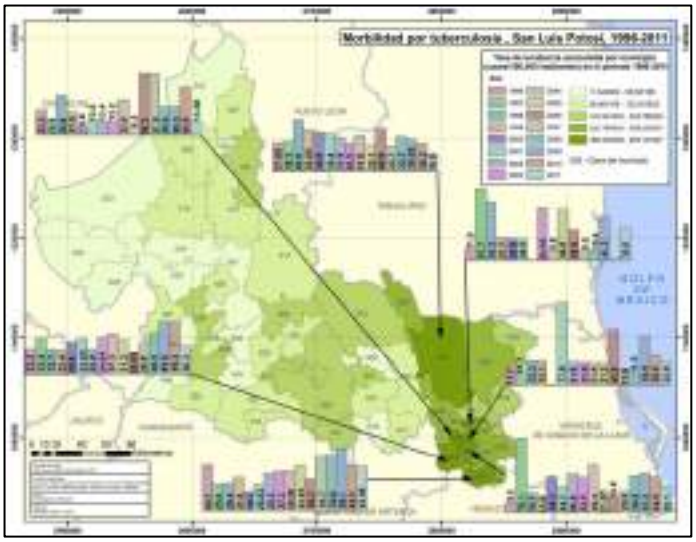
Mapa 22. Tendencias de la morbilidad por dengue hemorrágico vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

Asimismo, 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 dengue clásico y hemorrágico 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 25 y 26 muestran el traslape de los meses en los que hubo una mayor precipitación con los meses en que se registraron las mayores tasas de incidencia de dengue clásico y hemorrágico en el municipio de Tamazunchale durante los 15 años evaluados.

Figura 25. Valores mensuales de incidencia acumulada de dengue hemorrágico vs valores mensuales de precipitación durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Tamazunchale, S.L.P.

Figura 26. Valores mensuales de incidencia acumulada de dengue clásico vs valores mensuales de precipitación durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Tamazunchale, S.L.P.

En la distribución espacial y temporal de la tuberculosis se observó una concentración de las mayores tasas de incidencia acumulada en los años de 1997 (704/100 000 hab.), 2005 (762/100 000 hab.) y 2009 (894,5/100 000 hab.), siendo también municipios de la región Huasteca los que concentraron las mayores tasas de incidencia acumulada en todo el periodo de estudio (Mapa 23). Dichos municipios fueron, Tamazunchale (605/100 000 hab.), Ciudad Valles (504/100 000 hab.), Xilitla (503/100 000 hab.), Axtla de Terrazas (478/100 000 hab.), San Antonio (428/100 000 hab.), Coxcatlán (417/100 000 hab.) y Huehuetlán (412/100 000 hab.) (Figura 27).



Mapa 23. Distribución de la morbilidad por tuberculosis en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

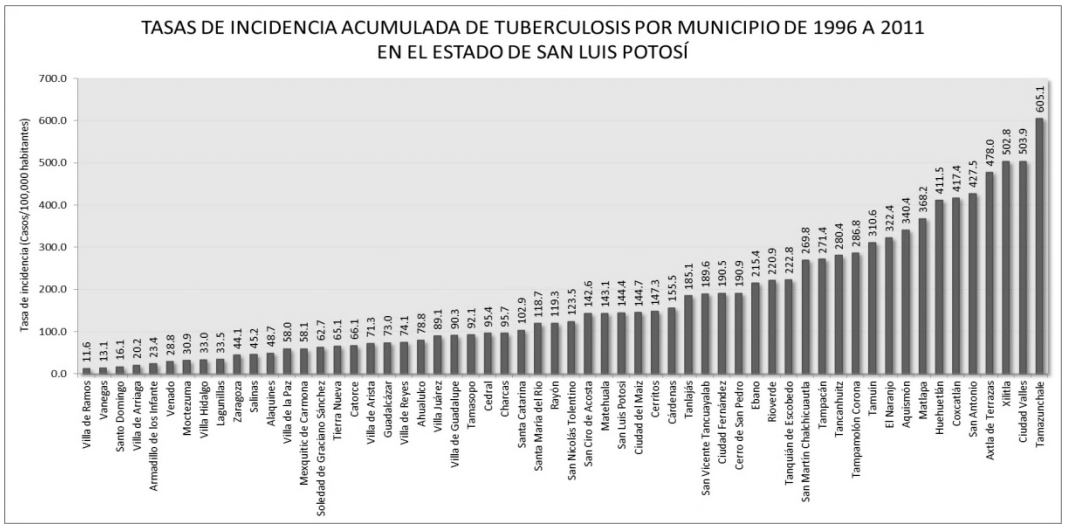
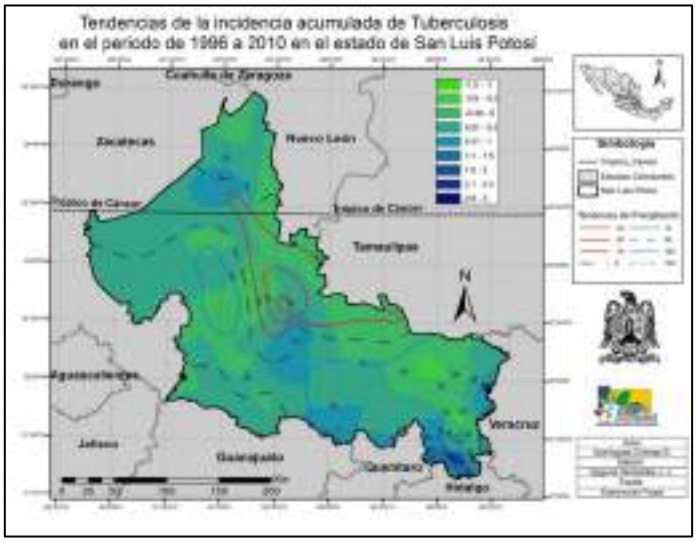


Figura 27. Tasas de incidencia acumuladas de tuberculosis por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

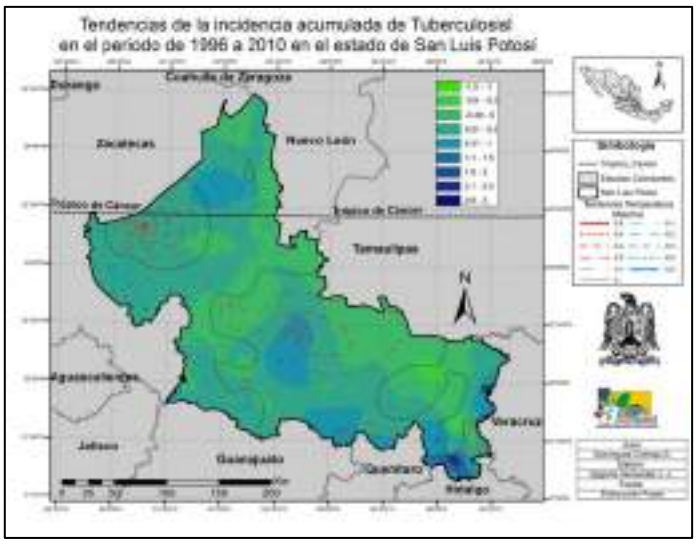
En el análisis de las tendencias de la incidencia acumulada de tuberculosis en el periodo de estudio a nivel estatal, se identificaron 37 municipios del Estado (64%) que mostraron tendencias al aumento de la incidencia de la enfermedad en los 15 años evaluados, siendo los municipios con las mayores tendencias, Matlapa (m=2,79), Tamazunchale (m=1,52), Huehuetlán (m=1,11), San Ciro 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 28).

Figura 28. Tendencias de la incidencia acumulada de tuberculosis por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

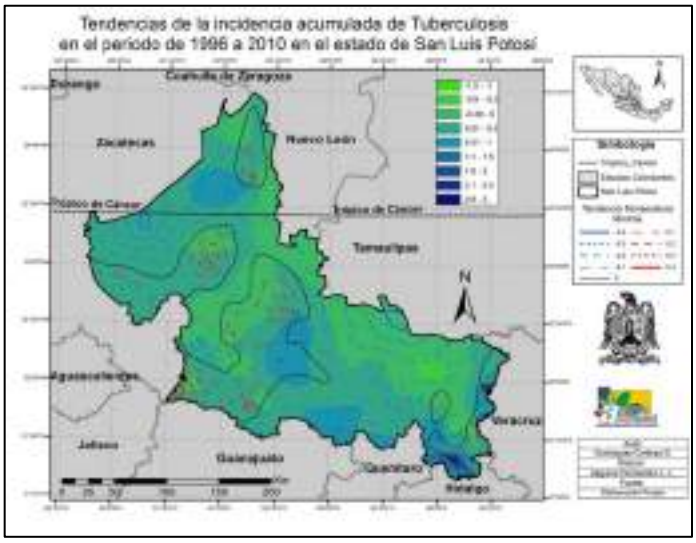
El análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de las tasas de incidencia acumulada de tuberculosis en la entidad, arrojó resultados que mostraron coincidencia entre las tendencias al aumento de la tuberculosis y las tendencias al aumento de días más calientes, con aumento de la precipitación. 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 24, 25 y 26).



Mapa 24. 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 25. 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 26. 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=Tx=0,262**; p=0,000) y Xilitla (Spearman=Tx=0,159*; p=0,042). Las Figuras 29 y 30 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 los municipios de Tamazunchale y Xilitla durante los 16 años evaluados.

Figura 29. 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.

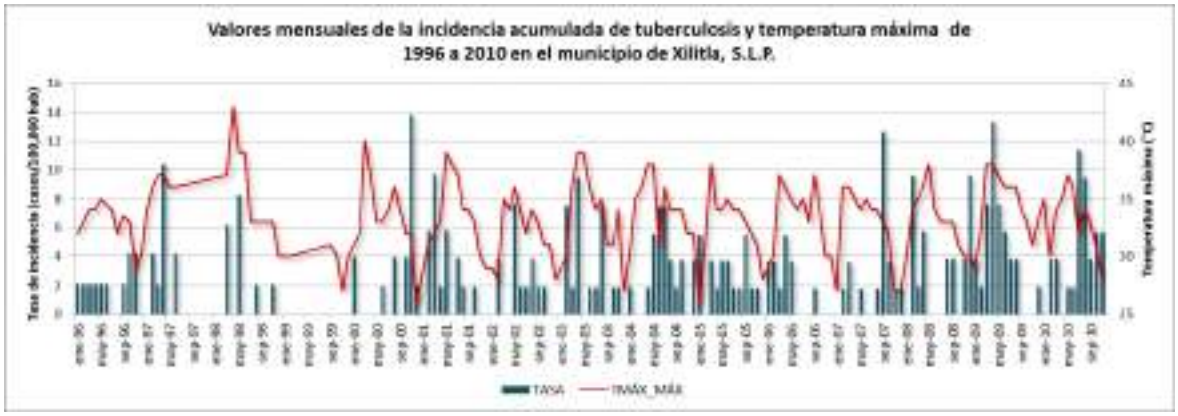
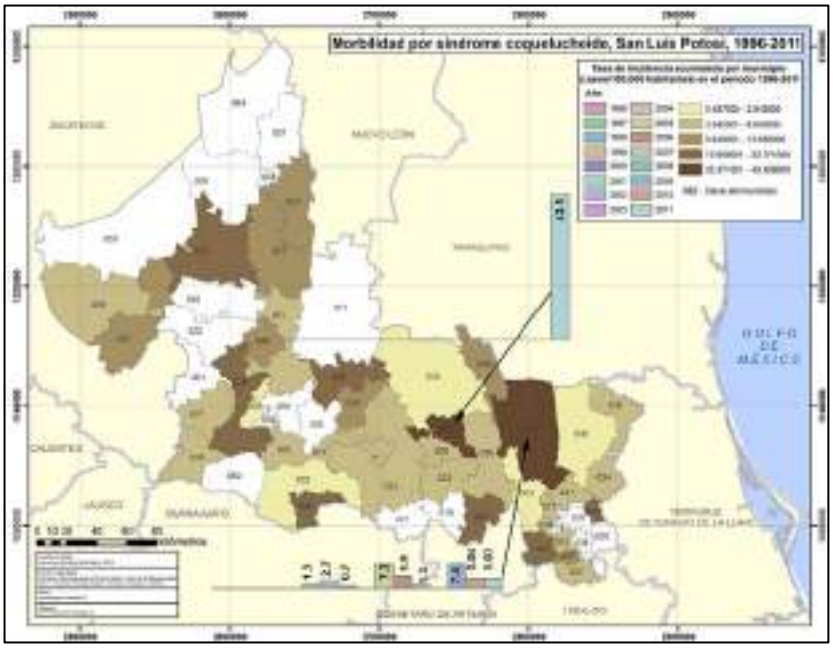


Figura 30. Valores mensuales de incidencia acumulada de tuberculosis vs valores mensuales de temperatura máxima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Xilitla, S.L.P.

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 2009 (72/100 000 hab.), 2010 (79/100 000 hab.) y 2011 (120/100 000 hab.) (Mapa 27). En este sentido, los municipios que tuvieron las mayores tasas de incidencias de la enfermedad fueron, Alaquines (44/100 000 hab.), Ciudad Valles (31/100 000 hab.), Tierra Nueva (22/100 000 hab.) y Santa Catarina (19/100 000 hab.) (Figura 31).



Mapa 27. Distribución de la morbilidad por síndrome coqueluchoide en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 31. 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 32).

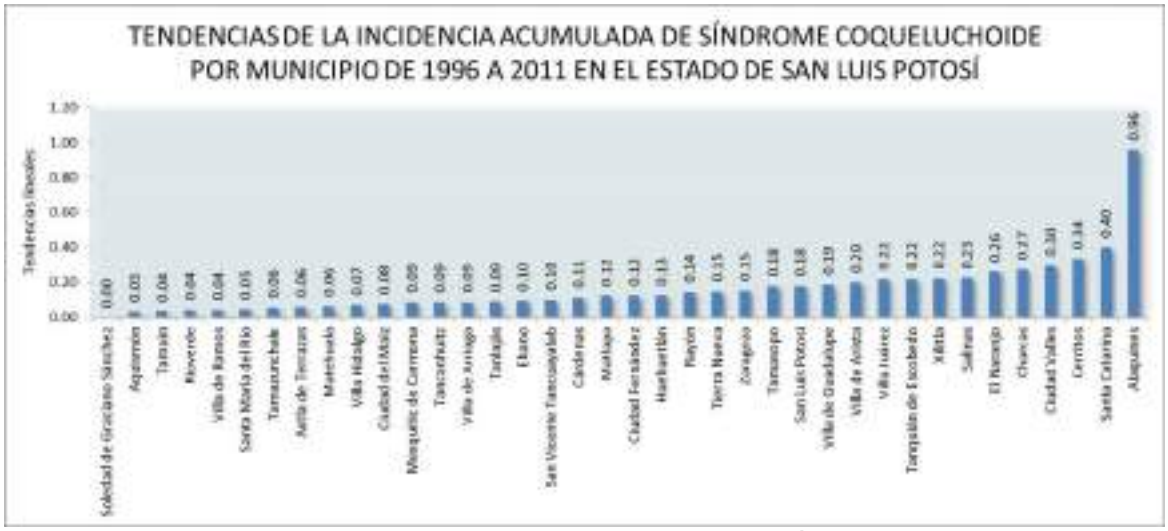
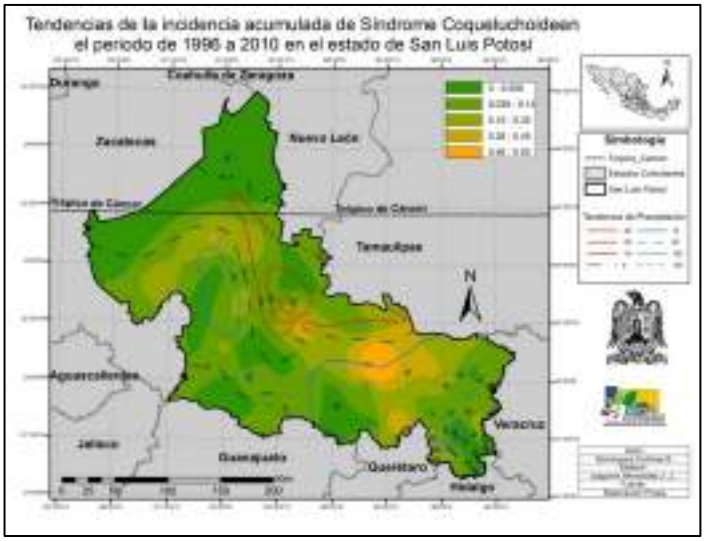
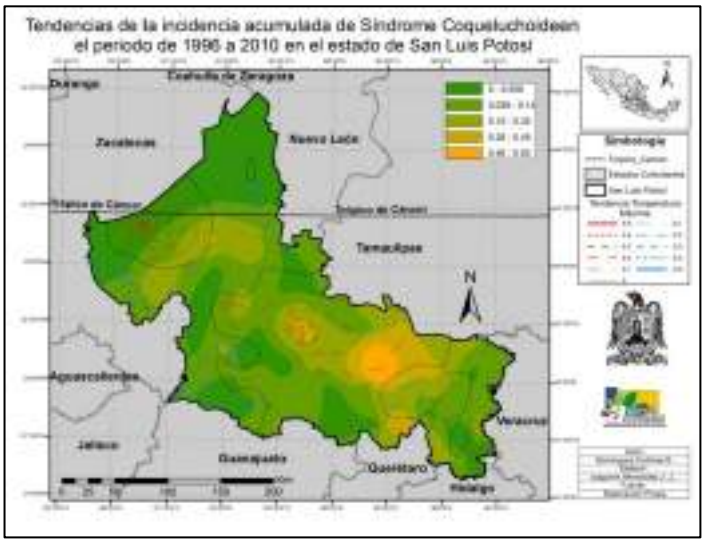


Figura 32. Tendencias de la incidencia acumulada de síndrome coqueluchoide por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

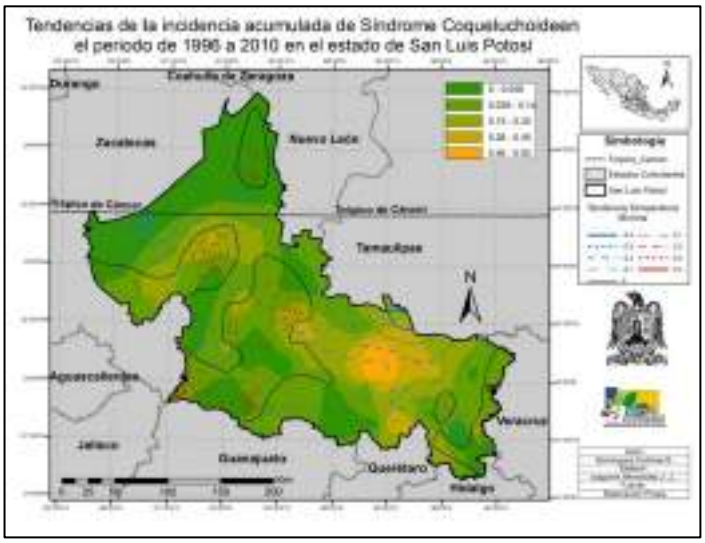
Considerando la etiología del síndrome coqueluchoide, y que éste se ve favorecido por los ambientes cálidos (35°C y 37°C) y húmedos, se realizó un análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de la incidencia acumulada de la enfermedad, encontrando que el 50% de los municipios que mostraron tendencia al aumento de las incidencias de esta enfermedad, también presentaron tendencias al aumento de los días más calientes (Tx) 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 28, 29 y 30). Esto fue reforzado por los resultados de las correlaciones de Spearman que mostraron significancia estadística (Tx=0,517*; Pp=0,649**; p=0,017; 0,000).



Mapa 28. 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 29. 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 30. 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) (21 798 500/100 000 hab.), las infecciones intestinales (3 048 509/100 000 hab.), la amebiasis (850 928/100 000 hab.), la helmintiasis (234 116/100 000 hab.), la ascariasis (225 506/100 000 hab.) y el asma (111 104/100 000 hab.); sin embargo, solamente las infecciones respiratorias agudas (m=46715; R^2=0,6794), las infecciones intestinales (m=5511,5; R^2=0,676) y el asma (m=346,06; R^2=0,7582) mostraron fuertes tendencias al incremento de sus tasas de incidencia (Figuras 33, 34 y 35).

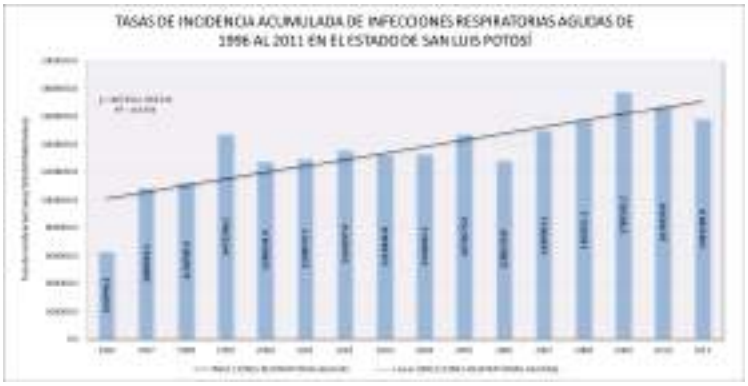
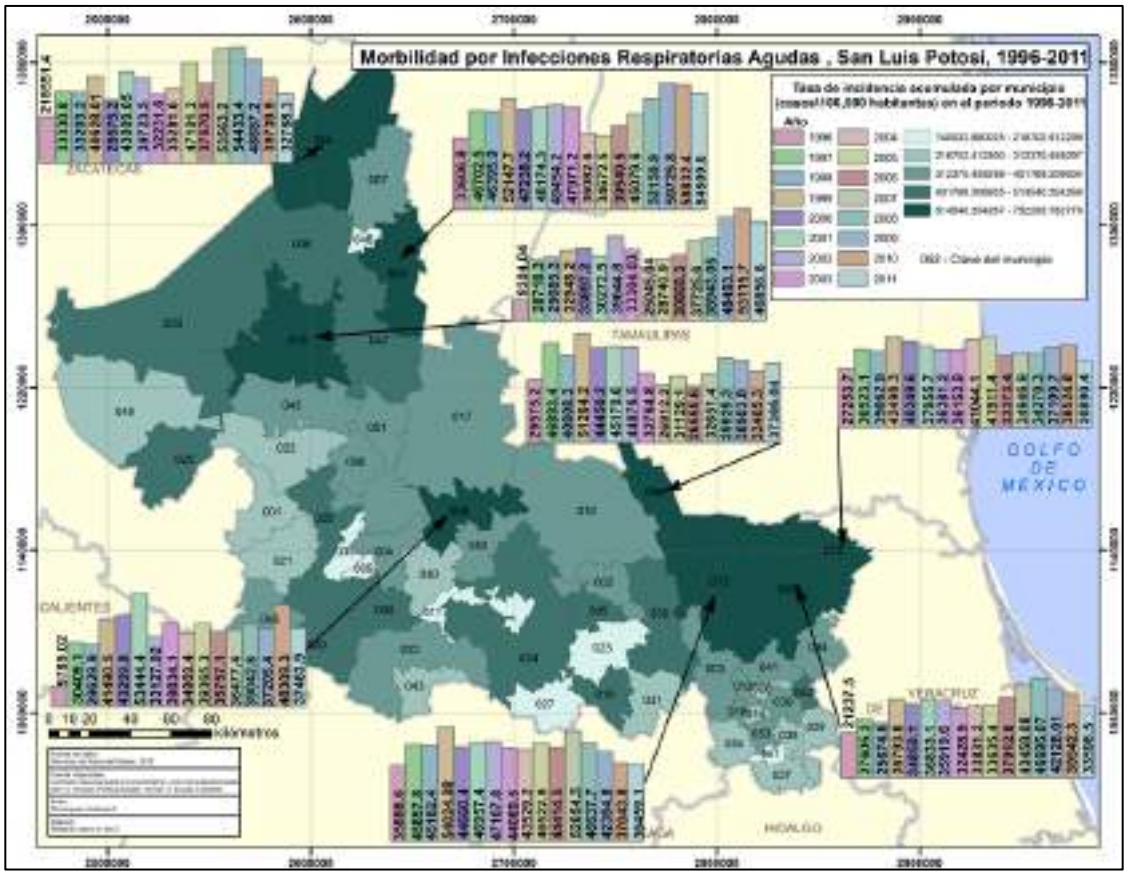


Figura 33. Tendencias de las tasas incidencia acumulada de IRA en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 34. Tendencias de las tasas incidencia acumulada de infecciones intestinales en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Figura 35. 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 2009 (1 780 503/100 000 hab.), 2010 (1 678 591/100 000 hab.) y 2011 (1 581 399/100 000 hab.), siendo los municipios con las mayores tasas acumuladas, Matehuala (752 294/100 000 hab.), Ciudad Valles (712 855/100 000 hab.), Vanegas (622 898/100 000 hab.) y El Naranjo (602 657/100 000 hab.); y los que presentaron las tasas de enfermedad más bajas, Ciudad Fernández (140 033/100 000 hab.), Villa de la Paz (159 641/100 000 hab.) y Soledad de Graciano Sánchez (162 338/100 000 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% de la tasa de incidencia acumulada total en todo el periodo de estudio.



Mapa 31. Distribución de la morbilidad por IRA en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

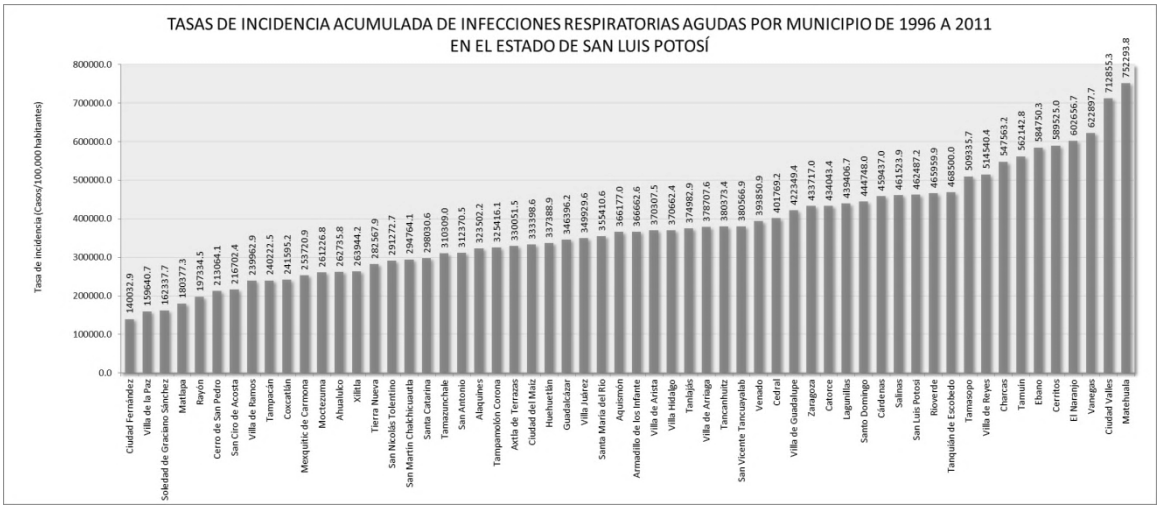


Figura 36. Tasas de incidencia acumulada de IRA por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

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= 2258,2), Villa de Arista (1940,3) y Rioverde (m= 1839,0). El 12% de los municipios restantes (7) mostraron tendencias negativas, siendo los municipios de San Luis Potosí (m= -771,6), El Naranjo (m= -594,4), Tampacán (m= -262,3) y Ciudad Valles (m= -245,2) los de las tendencias más negativas (Figura 37).

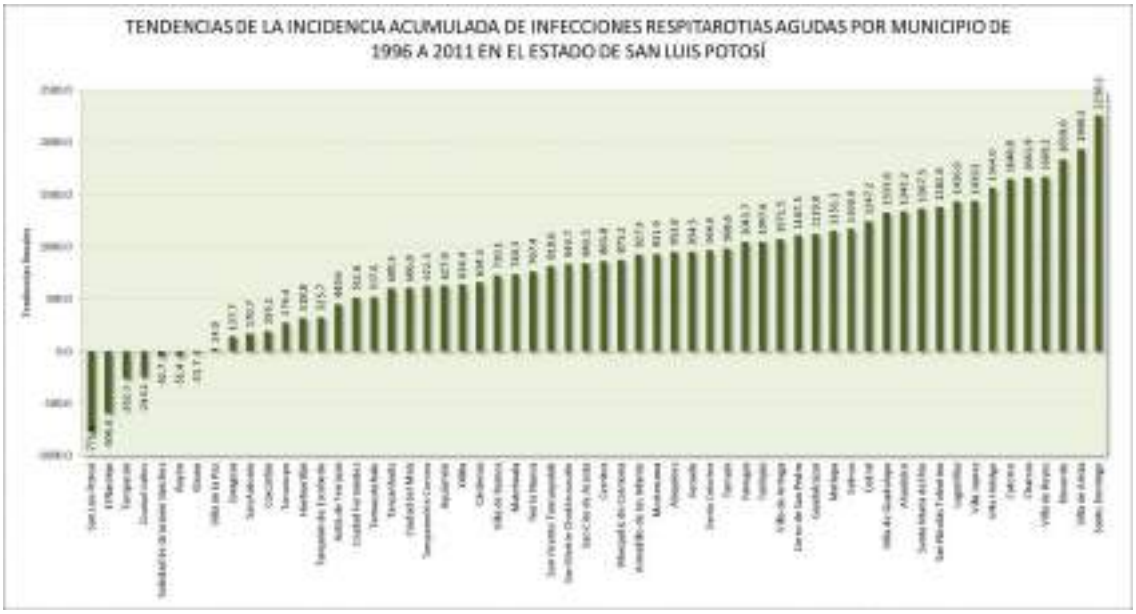
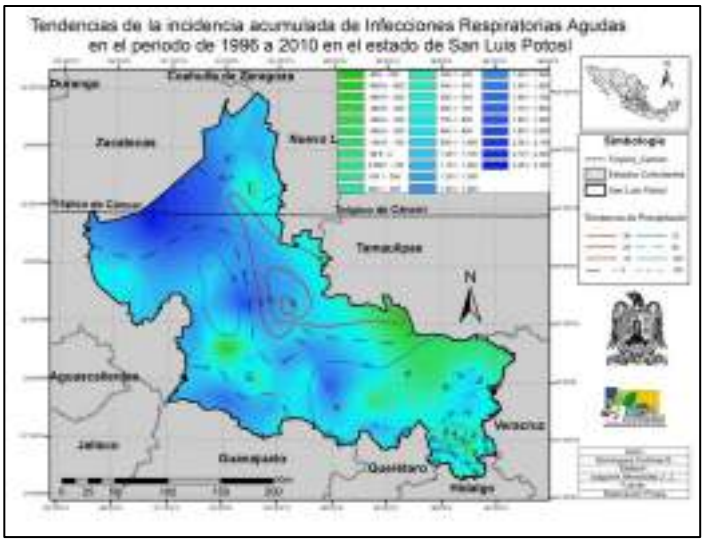
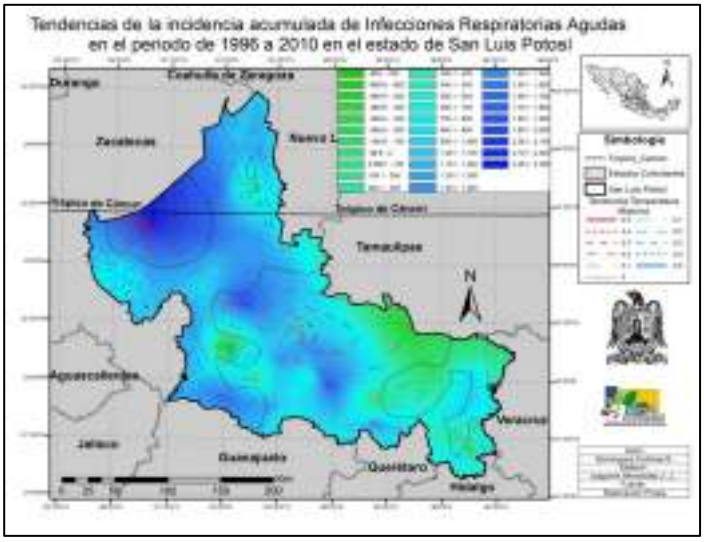


Figura 37. Tendencias de la incidencia acumulada de IRA por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

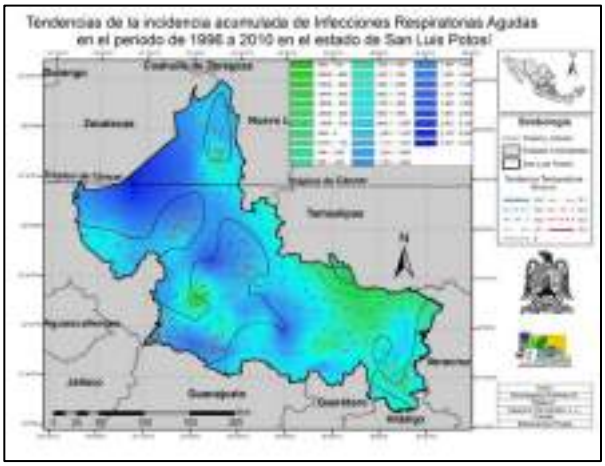
La amplia distribución de IRA y sus altas tasas de incidencia acumulada en todo el Estado, dificultó mucho la identificación de patrones espaciales y temporales de IRA que pudieran ser empatados con los patrones climáticos identificados, a pesar de ser sabido que las bajas temperaturas, así como la sequedad 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 32, 33 y 34).



Mapa 32. 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 33. 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 34. 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 (Tx=-0,487**; Pp=-0,432**; Tn=-0,693**; p=0,000; 0,000; 0,000), Matehuala (Tx=-0,276**; Pp=-0,287**; Tn=-0,490**; p=0,000; 0,000; 0,000), Vanegas (Tx=-0,497**; Pp=-0,201*; Tn=-0,539**; p=0,000; 0,016; 0,000), Villa de Arista (Tx=-0,344**; Pp=-0,255**; Tn=-0,434**; p=0,000; 0,001; 0,000) y Santo Domingo (Pp=-0,181*; Tn=-0,585**; p=0,016; 0,000). Las Figuras 38 a la 43 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.

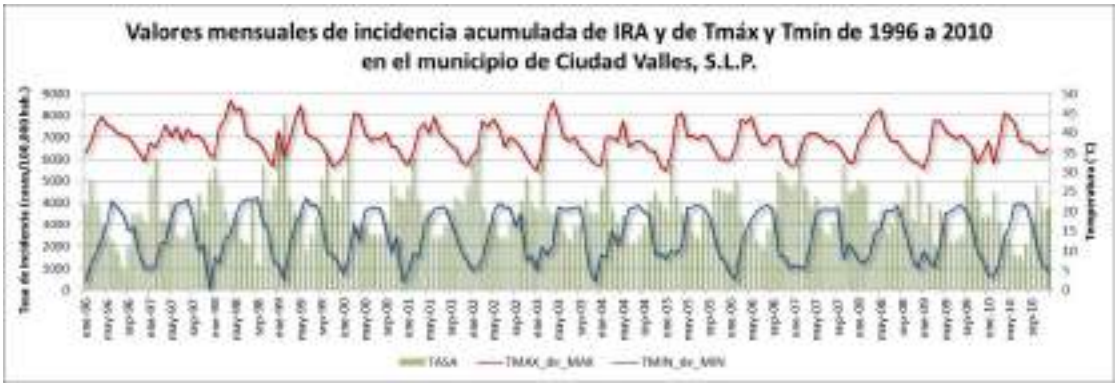


Figura 38. Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ciudad Valles, S.L.P.

Figura 39. 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 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 Matehuala, S.L.P.

Figura 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 Matehuala, S.L.P.

Figura 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 Vanegas, S.L.P.

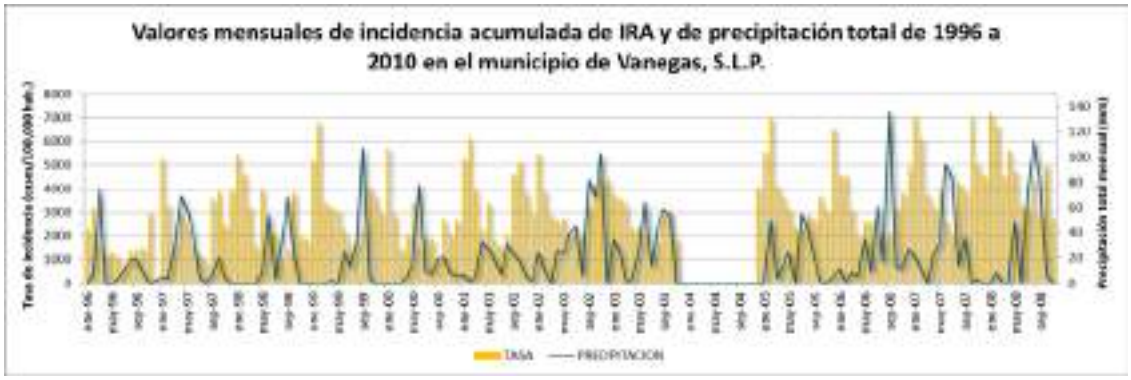
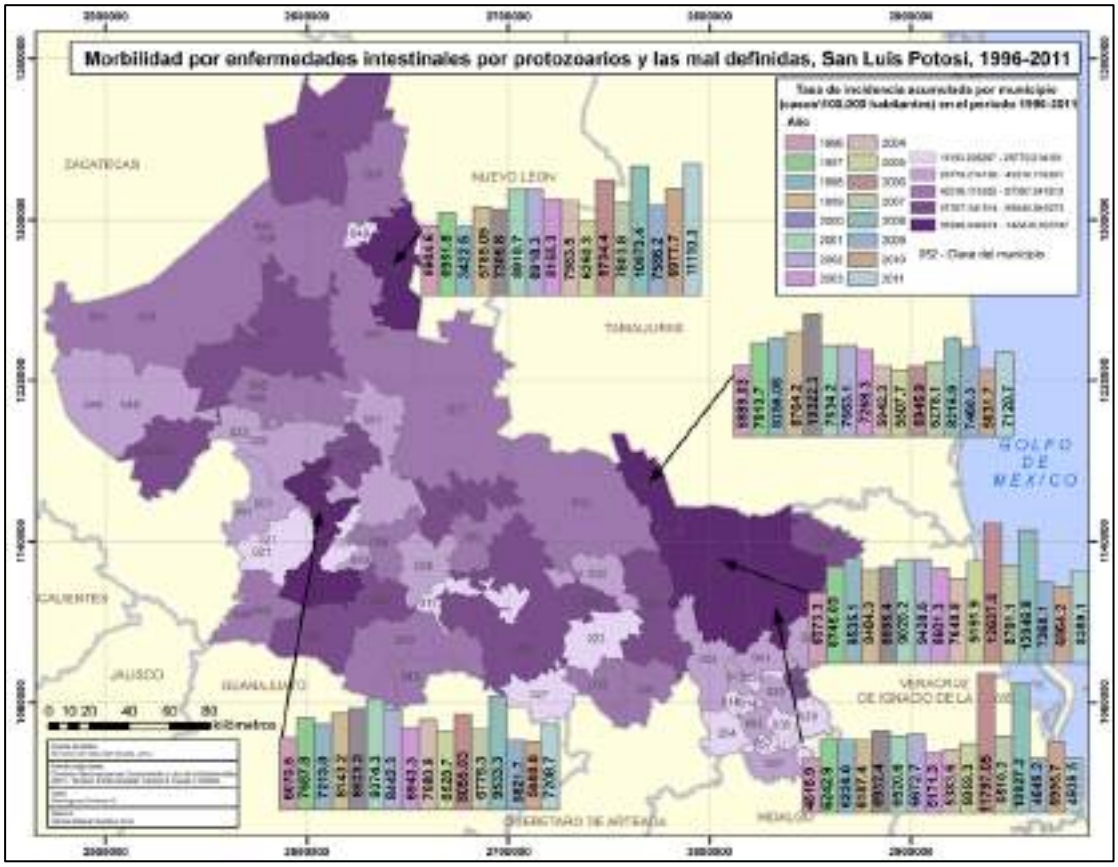


Figura 43. Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Vanegas, S.L.P.

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 35). 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 44).



Mapa 35. Distribución de la morbilidad por infecciones intestinales en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

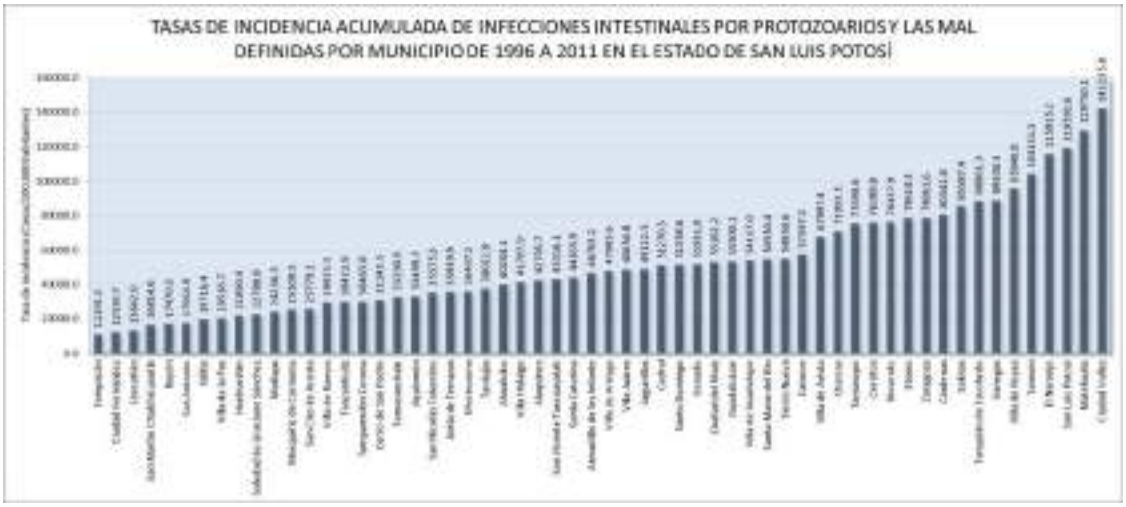


Figura 44. Tasas de incidencia acumulada de infecciones intestinales por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

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 45).

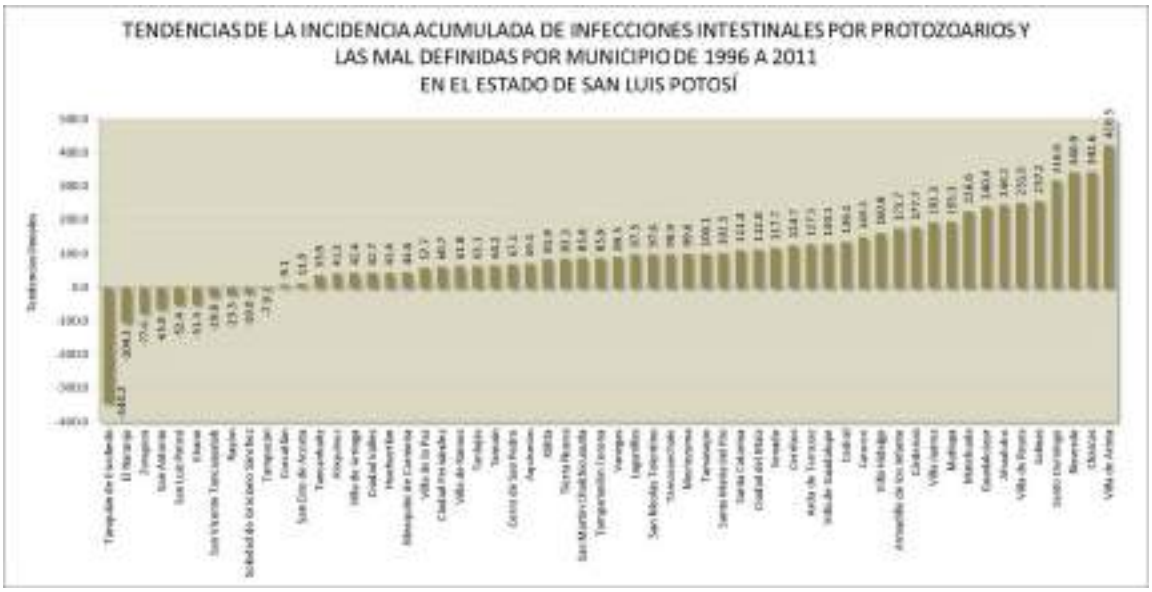
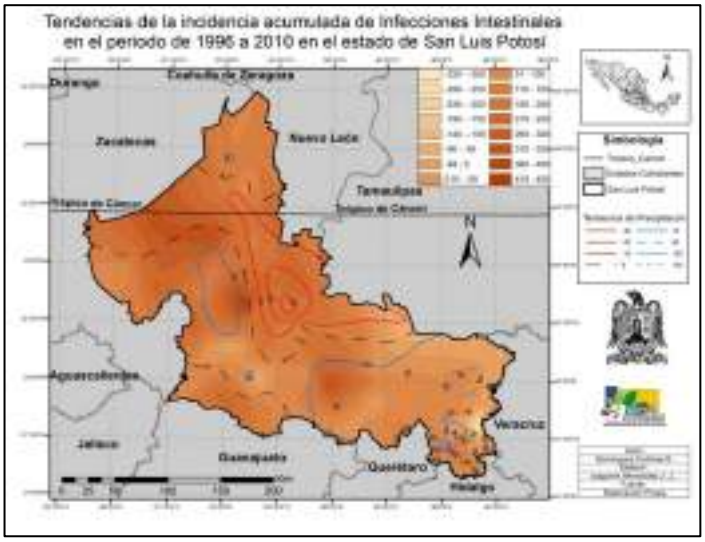
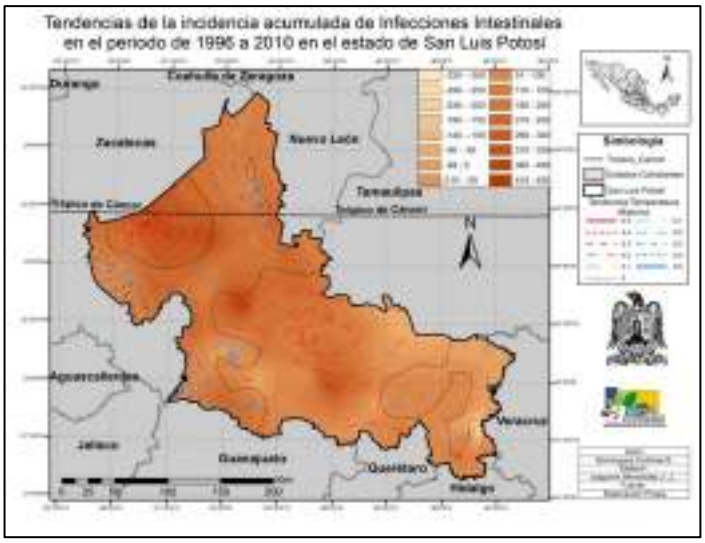


Figura 45. Tendencias de la incidencia acumulada de infecciones intestinales por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

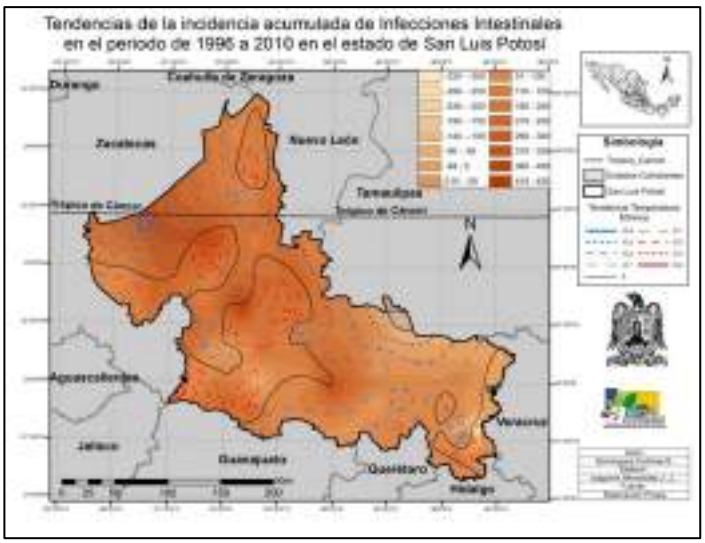
El empate del conjunto de datos climáticos con las tasas de incidencia acumulada de las infecciones intestinales considerando todo el Estado y los 16 años de análisis, mostró un traslape entre los municipios con tendencias al aumento de los días y noches más calientes (aumento de Tx y Tn) y más lluviosos (aumento de Pp) con el 41% de los municipios que también presentaron tendencias al aumento de la incidencia de las infecciones intestinales (Mapas 36, 37 y 38). 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 36. 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 37. 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 38. 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 (Tx=0,237**; Pp=0,336**; Tn=0,199*; p=0,002; 0,000; 0,011), Villa de Arista (Tx=0,303**; Pp=0,360**; Tn=0,432**; p=0,000; 0,000; 0,000), Villa de Reyes (Tx=0,371**; Pp=0,329**; Tn=0,515**; p=0,000; 0,000; 0,000), Ciudad Valles (Tx=0,190*; Tn=0,187**; p=0,011; 0,012) y El Naranjo (Tx=0,170*; p=0,040).

Las Figuras 46 a la 51 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 46. 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 47. 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 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 Villa de Arista, S.L.P.

Figura 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 Villa de Arista, S.L.P.

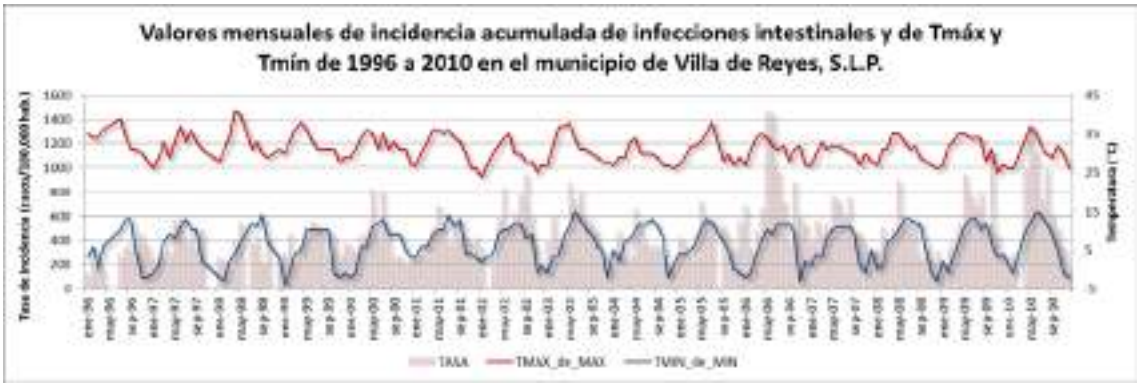
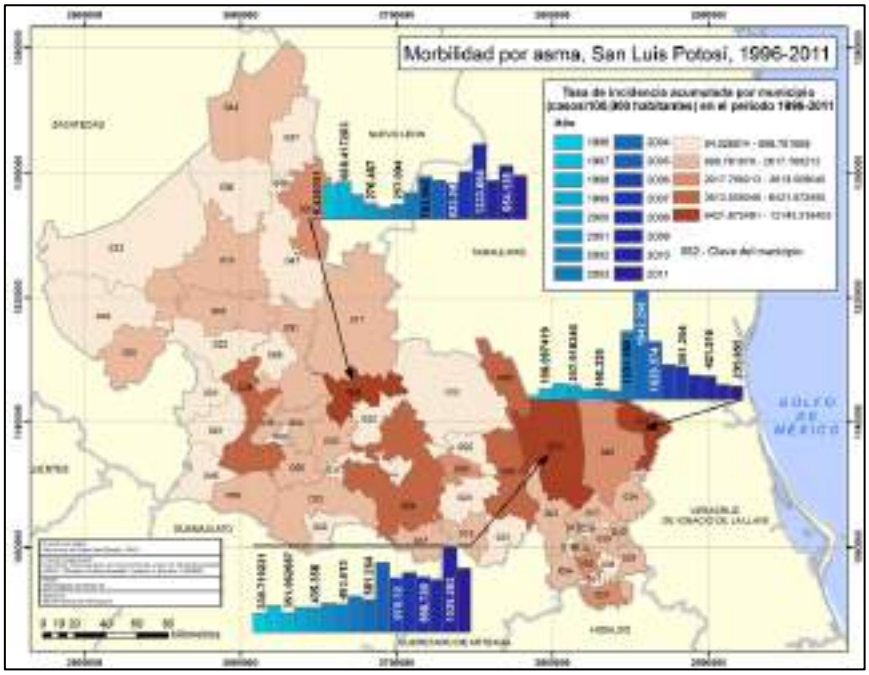


Figura 50. Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Villa de Reyes, S.L.P.

Figura 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 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, 2004 (8 974/100 000 hab.), 2010 (10 062/100 000 hab.) y 2011 (9 537/100 000 hab.), y los municipios con las mayores tasas acumuladas fueron, Ciudad Valles (12 143/100 000 hab.), Cerritos (9 637/100 000 hab.), Ébano (8 107/100 000 hab.), El Naranjo (6 422/100 000 hab.) y

Rioverde (5 849/100 000 hab.). Las tasas más bajas se identificaron en los municipios de Mexquitic de Carmona (94/100 000 hab.), Cerro de San Pedro (138/100 000 hab.), Villa de Juárez (192/100 000 hab.) y Villa de la Paz (199/100 000 hab.) (Mapa 39, Figura 52).



Mapa 39. Distribución de la morbilidad por asma en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

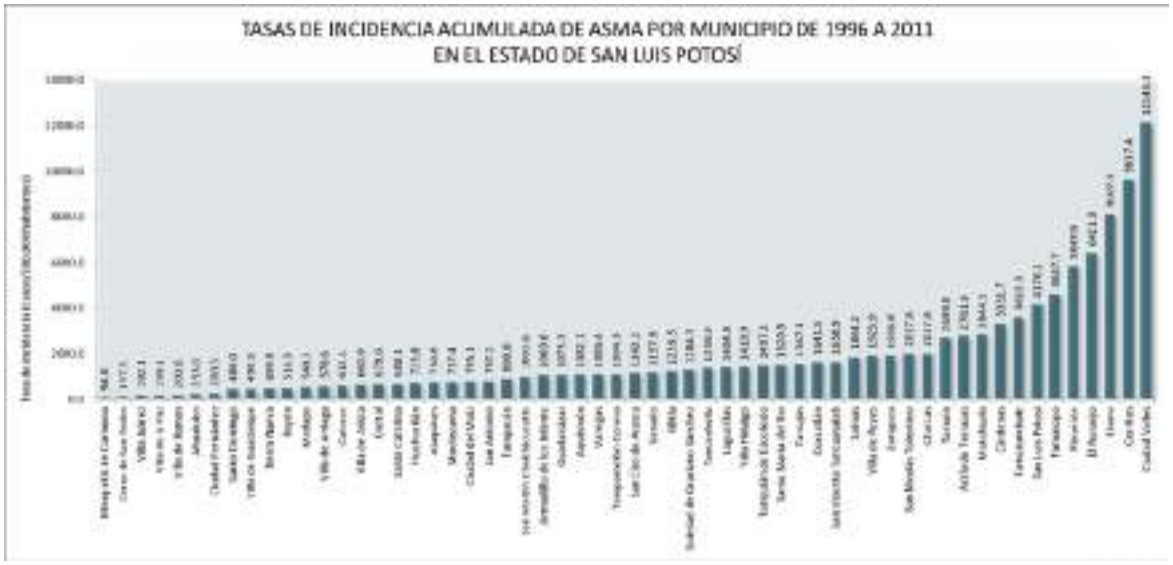
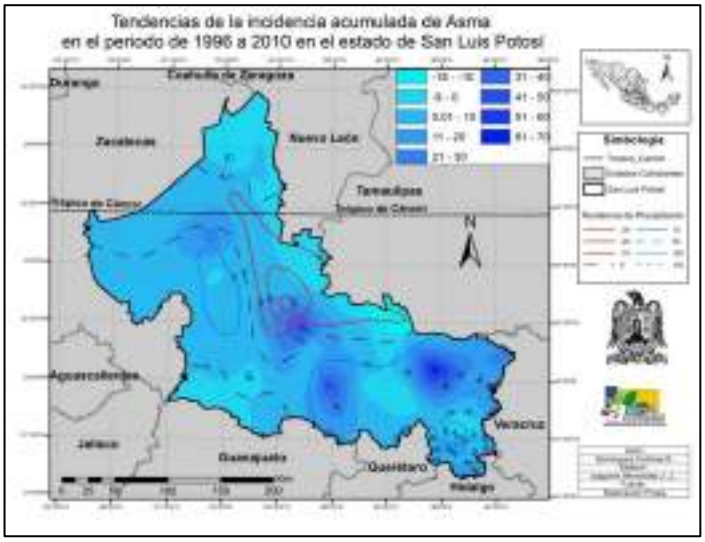


Figura 52. Tasas de incidencia acumulada de asma por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

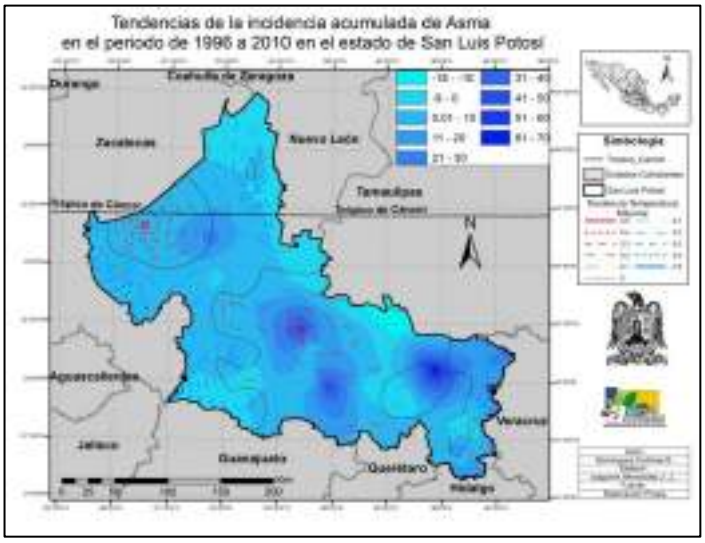
Los resultados de las tendencias de la enfermedad durante el periodo de estudio, mostraron a un 69% de los municipios del Estado (40/58) con tendencias positivas, siendo los que presentaron las mayores tendencias al aumento de la incidencia del asma, Ciudad Valles (m= 68,07), Rioverde (m= 47,69) y Cerritos (m= 47,00). Los municipios con las principales tendencias negativas fueron, El Naranjo (m= -19,04), Cárdenas (m= -11,94) y Tamasopo (m= -11,47) (Figura 53).

Figura 53. Tendencias de la incidencia acumulada de asma por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

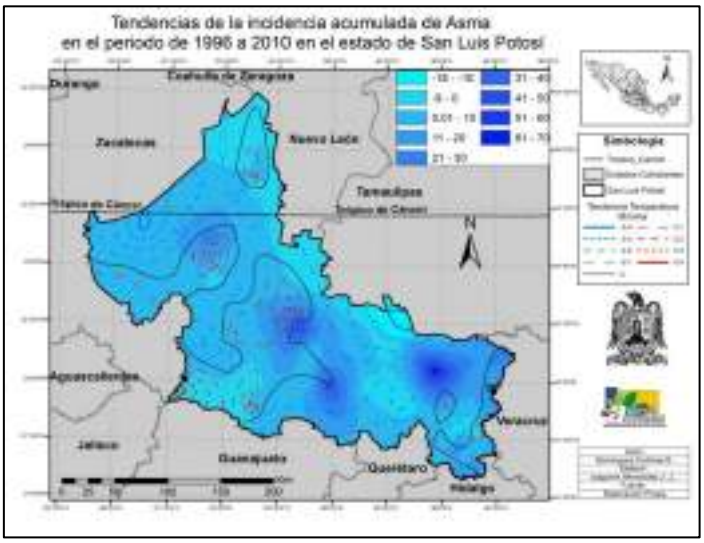
De acuerdo a la etiología del asma, los factores climáticos como la temperatura, la humedad y la precipitación representan un riesgo para la enfermedad, tanto cuando éstos propician ambientas fríos y secos, como cuando propician ambientes calientes y húmedos que favorecen entre otras cosas, la proliferación 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 40, 41 y 42).



Mapa 40. 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 41. 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 42. 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 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 (Tx=0,555**; Pp=0,761**; Tn=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 (Tx=-0,352**; Pp=-0,289**; Tn=-0,495**; p=0,000; 0,000; 0,000), El Naranjo (Tx=-0,241**; Pp=-0,336**; Tn=-0,262**; p=0,003; 0,000; 0,001), Rioverde (Tx=-0,209**; Tn=-0,218**; p=0,005; 0,004), Ébano (Tx=-0,344**; Tn=-0,264**; p=0,000; 0,000), y Cerritos (Tx=0,215**; Pp=-0,150*; Tn=-0,231**; p=0,004; 0,044; 0,002) (Figuras 54 – 60).

Figura 54. 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 55. 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 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 El Naranjo, S.L.P.

Figura 57. 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 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 Rioverde, S.L.P.

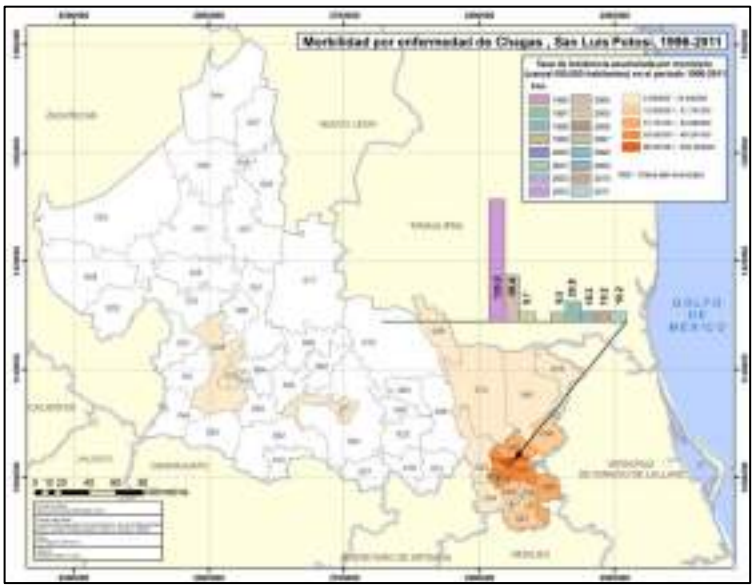
Figura 59. Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ébano, S.L.P.

Figura 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 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 870/100 000 hab., con una tendencia a la baja (m=-0,8703; R^2=0,0026) apenas perceptible (Figura 61), siendo los años de 2003 (181/100 000 hab.), 2004 (123/100 000 hab.), 2008 (127/100 000 hab.) y 2010 (116/100 000 hab.) los que presentaron las mayores tasas de incidencia acumulada de todo el periodo de estudio el cual en esta caso solo abarcó los años de 2002 a 2011 dada la ausencia de información en años anteriores.

Figura 61. Tendencias de las tasas incidencia acumulada de enfermedad de Chagas en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 2002 a 2011.

De acuerdo análisis de la distribución espacial de la enfermedad, solo 22 municipios de la entidad (38%), tuvieron registros de casos de enfermedad, siendo los que concentraron las mayores tasas de incidencia acumulada de Chagas en los 10 años evaluados, San Antonio (251/100 000 hab.), Coxcatlán (99/100 000 hab.), Tampamolón Corona (90/100 000 hab.), Tancanhuitz (88/100 000 hab.), Huehuetlán (72/100 000 hab.) y San Martín Chalchicuautla (53/100 000 hab.). Por el contrario, los municipios con las más bajas tasas de incidencia fueron, Soledad de Graciano Sánchez (0,4/100 000 hab.) y San Luis Potosí (0,5/100 000 hab.) (Mapa 43, Figura 62).



Mapa 43. Distribución de la morbilidad por enfermedad de Chagas en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

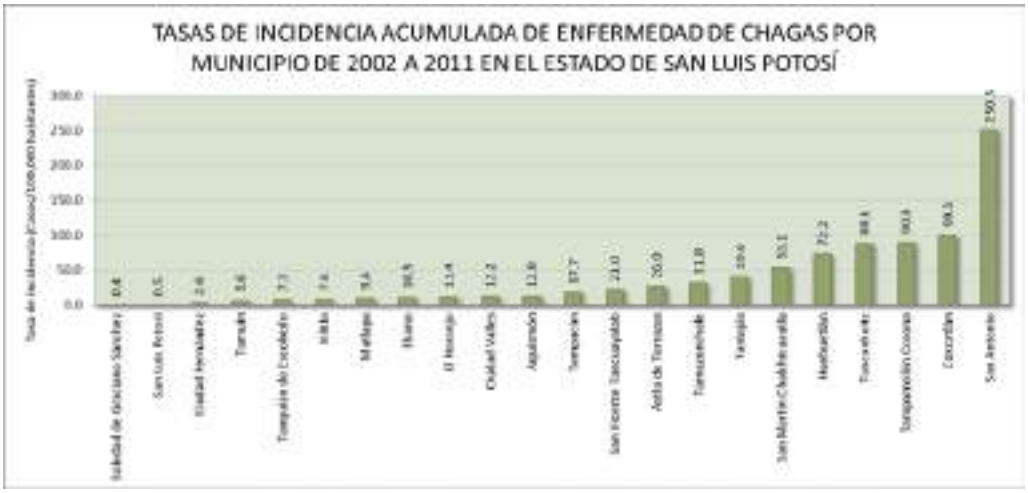


Figura 62. Tasa de incidencia acumulada de la enfermedad de Chagas por municipio de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

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 63).

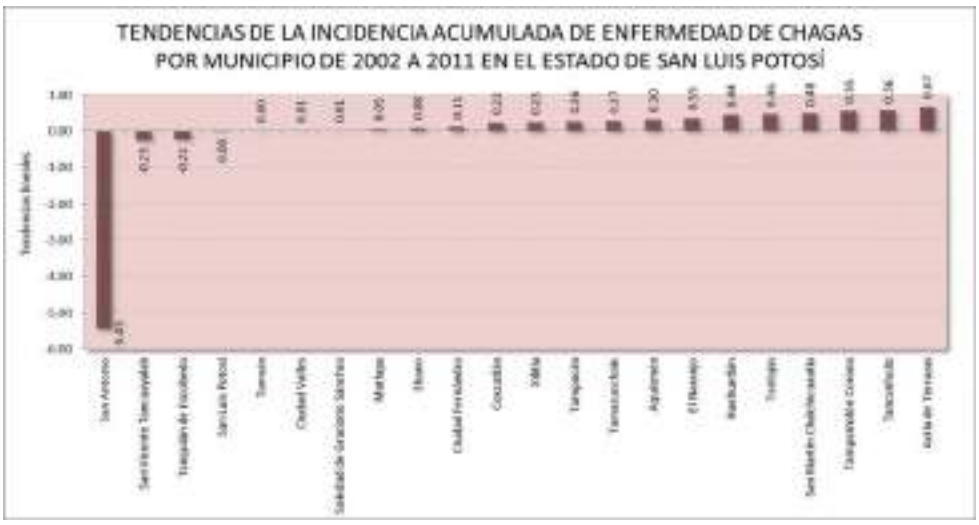
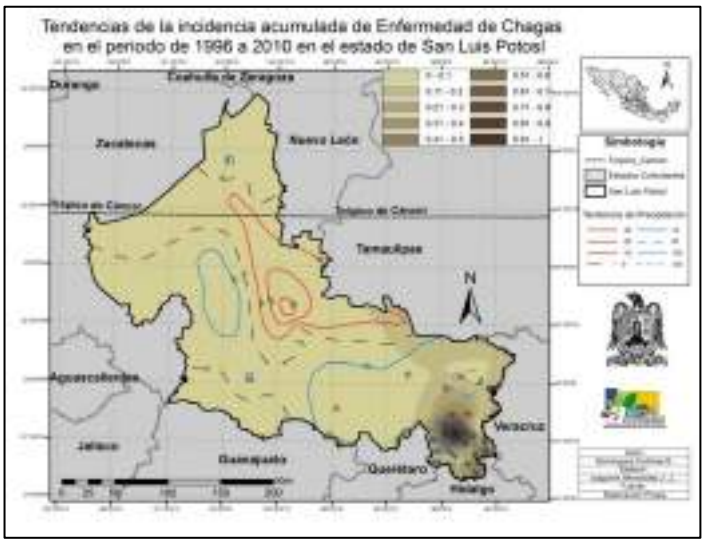
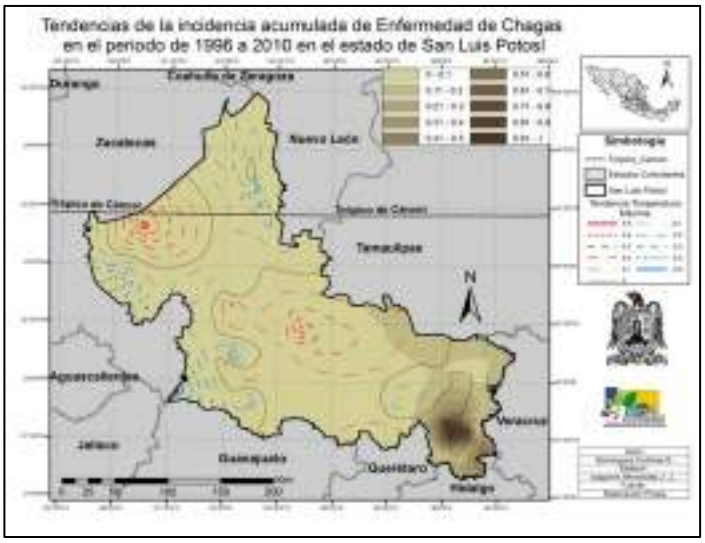


Figura 63. Tendencias de la incidencia acumulada de enfermedad de Chagas por municipio de 2002 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

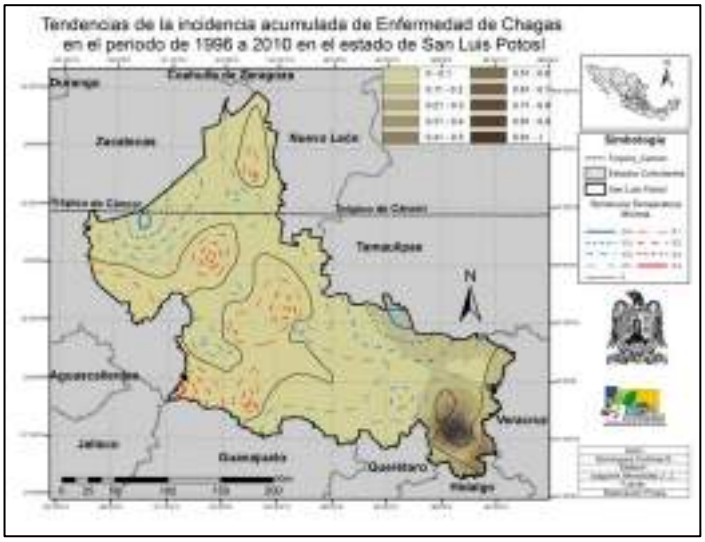
Dados los patrones climáticos predominantes identificados en la Huasteca, como son el aumento de días y noches calientes con más lluvia, mismos que favorecen la incidencia de Chagas, se identificó un traslape entre los municipios que presentaron dicha condición climática con el 44% de los municipios de mostraron tendencias al aumento de las tasas de incidencia acumulada (Mapas 44, 45 y 46). 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=Tx=0,386**; Pp=0,378**; Tn=0,279*; p=0,004; 0,005; 0,041).



Mapa 44. 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 45. 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 46. 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.

Resulta importante resaltar que de la tasa total de incidencia acumulada calculada, incluyendo los 16 años de estudio, y todas las enfermedades evaluadas para todo el Estado, la región Huasteca concentró el 36% de la tasa de incidencia acumulada total, la región Altiplano el 28%, la zona Media el 19% y la zona Centro el 17% (Tabla 4).

Tabla 4. 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.

Tot enfe=26																													pocos casos	
Tot tend pos=15		↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑		
Región	Cve región	Amebiasis	Ascariasis	Asma	Brucelosis	Dengue c	Dengue h	Giardiasis	Hepatitis A	Inf intest prot	Inf resp agu	Intox alim	Neumo Bronco	Otras helmintiasis	Paratifoidea	Shigelosis	Teniasis	Tifoidea	Tuberculosis	Meningitis	Desnut mod	Desnut sev	Enf Chagas	Sind Coquel	Influ est	Influ AH1N1	Rotavirus	total
ALTIPLANO	1	21.9	9.9	14.0	48.8	0.1	0.0	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	0.0	19.5	32.9	15.9	19.4	28.0
CENTRO	2	13.4	4.9	12.1	2.8	0.0	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	17.0
MEDIA	3	17.2	10.2	23.9	43.1	8.9	4.1	17.5	23.0	18.4	18.8	53.4	22.4	6.9	30.9	17.1	16.7	19.5	15.2	16.0	19.0	22.5	0.3	30.2	14.6	15.1	54.6	18.6
HUASTECA	4	47.5	75.0	49.9	5.3	91.0	95.9	45.6	39.1	32.0	35.7	15.8	36.4	73.5	30.7	47.3	31.0	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 5. 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 su contribución en cada uno de ellos (Tabla 6). A partir de dichos coeficientes de correlación se obtuvieron los valores de R^2 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. Matriz de componentes principales obtenida por el método de rotación Varimax, mostrando las variables con mayor saturación (correlación) por componente extraído.

	Componente				R^2
	1	2	3	4	
% de población que sufre pobreza alimentaria	.900	.240	.220	.143	0.810
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	.884		.129		0.782
% de población que sufre pobreza de capacidades	.883	.236	.272	.116	0.779
Porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra	.819	.414			0.671
% de población analfabeta de 15 años y mas	.797	.116	.271	.103	0.636
% de población que sufre pobreza de patrimonio	.797	.213	.390		0.635
Porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos	.738		.516	.125	0.544
Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento	.733	.291	.235	.288	0.537
Promedio de temperatura mínima	.250	.875		-.115	0.765
Promedio de temperatura máxima	.165	.837		.182	0.700
Precipitación total	.264	.685	.129	-.423	0.469
Unidades de hospitalización en el municipio	-.272		-.838	-.349	0.703
Número de habitantes por cada unidad de consulta externa	-.413		-.784		0.614
Número de habitantes por cada persona (personal medico)			.251	.794	0.631
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo	.266	-.343		.674	0.454
% de población sin derechohabiencia a servicios de salud	.549		-.140	.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; R^2=0,810), porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada (R=0,884; R^2=0,782), porcentaje de población con pobreza de capacidades (R=0,883; R^2=0,779), porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra (R=0,819; R^2=0,671), porcentaje de población analfabeta de 15 años y más (R=0,797; R^2=0,636), porcentaje de población con pobreza de patrimonio (R=0,797; R^2=0,635), porcentaje de población ocupada con bajo ingreso (hasta 2 salarios mínimos) (R=0,738; R^2=0,544) y porcentaje de viviendas con hacinamiento (R=0,733; R^2=0,537). En el segundo componente las variables que tuvieron el mayor peso fueron, el promedio de la temperatura mínima (R=0,875; R^2=0,765), promedio de la temperatura máxima (R=0,837; R^2=0,700) y la precipitación total (R=0,685; R^2=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; R^2=0,703) y el número de unidades hospitalarias (R=-0,784; R^2=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; R^2=0,631), porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo (R=0,674; R^2=0,454) y porcentaje de población sin derechohabiencia a servicios de salud (R=0,637; R^2=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 morbilidad identificada en el estado de San Luis Potosí durante los tres años para los que se realizó este análisis (2000, 2005 y 2010). Es decir que, de una tasa de morbilidad acumulada de 5 340 394,5/100 000 hab., 4 272 315,6/100 000 hab., resultó ser atribuible al conjunto de variables sociales y climáticas seleccionadas.

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 y atribución respecto a la condición de morbilidad identificada, explicando una tasa de incidencia de morbilidad de 2 093 434,6/100 000 hab., (49%). En segundo lugar, aparecieron las tres variables climáticas (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) con un importante

peso y atribución de la morbilidad detectada en la entidad, explicando una tasa de incidencia de 640 847,3/100 000 hab., (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.

5. 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. Bibliografía.

1. INE (2009) México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 274 pp.
2. Shea K, Corra L, Pronczuk J,Marie-Noel Brune MN (2008) Managing chemicals in a changing climate to protect health. Intergovernmental Forum on Chemical Safety. Global Partnerships for Chemical Safety.
3. IPCC. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
4. Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, K.L. Ebi, M. Hauengue, R.S. Kovats, B. Revich and A. Woodward, 2007: Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L.

Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.

5. Kristie L. Ebi , Sari R. Kovats , Bettina Menne. 2006. An Approach for Assessing Human Health Vulnerability and Public Health Interventions to Adapt to Climate Change. Environ Health Perspect 114:1930-1934 (2006). doi:10.1289/ehp.8430 available via http://dx.doi.org/ [Online 11 July 2006].
6. Horacio Riojas Rodríguez, Magali Hurtado Díaz, Grea Litai Moreno, Stephen Rothenberg Lorenz, René Santos Luna, José Luis Texcalac Sangrador. 2008. Estudio piloto sobre escenarios de riesgos en salud asociados al cambio climático en regiones seleccionadas de México. Instituto Nacional de Salud Pública.
7. Hales S.1996. Dengue Fever Epidemics in the South Pacific Region: Driven by El Nino Southern Oscillation? Lancet 348: 1664-1665.
8. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2003. Cambio climático y salud humana: Riesgos y respuestas. ISBN 92 4 359081 2. Comercialización y difusión, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza.
9. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2008. Cambio climático y salud. Informe de la Secretaría. Consejo Ejecutivo. 122a Reunión. EB122/4.
10. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1997. Impacto de los desastres en la salud pública. OPS, 525 Twenty-third Street, N.M. Washington D.C. 445pp.
11. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 2006. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgo. Fenómenos Hidrometeorológicos. Secretaría de Gobernación. 1ª Edición. México. 139 pp.
12. Revista Umbral - Sección Memorias N.1 Septiembre 2009: 199-217ojs.uprrp.edu/index.php/umbral Teoría de Gaia199 Vulnerabilidad y resiliencia ante las amenazas en el Municipio de Loíza, Puerto Rico. Zaibette Maldonado Muñoz Centro de Investigaciones Sociales, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras San Juan, Puerto Rico.
13. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La FAO en México: Más de 60 años de cooperación 1945 – 2009. Representación de la FAO en México. México, 2009. 370 pp.
14. Ilizaliturri C, González-Mille D, Pelallo NA, Domínguez G, Mejía-Saavedra J, Pérez-Maldonado I, Batres L, Díaz-Barriga F y Espinosa-Reyes G. Revisión de las

metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. Interciencia. Enviado.

15. Domínguez G, Cifuentes E, Rico E, y Díaz-Barriga F (2009) Indicators of environmental health inequity in different “favelas” of San Luis Potosi, Mexico. Enviado a publicación.
16. Torres-Nerio R, Díaz-Barriga F, Carrizales-Yáñez L, Coronado-Salas C, Nieto-Caraveo L, Moreno- Sánchez AR, Barraza-Lomelí L, Cubillas-Tejeda AC. Diseño y aplicación de un Programa de Comunicación de Riesgos para la salud ambiental infantil en un sitio contaminado con plomo y arsénico. Salud Colectiva, enviado.
17. IPCC. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
18. Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, K.L. Ebi, M. Hauengue, R.S. Kovats, B. Revich and A. Woodward, 2007: Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.
19. Kristie L. Ebi , Sari R. Kovats , Bettina Menne. 2006. An Approach for Assessing Human Health Vulnerability and Public Health Interventions to Adapt to Climate Change. Environ Health Perspect 114:1930-1934 (2006). doi:10.1289/ehp.8430 available via http://dx.doi.org/ [Online 11 July 2006].
20. Horacio Riojas Rodríguez, Magali Hurtado Díaz, Grea Litai Moreno, Stephen Rothenberg Lorenz, René Santos Luna, José Luis Texcalac Sangrador. 2008. Estudio piloto sobre escenarios de riesgos en salud asociados al cambio climático en regiones seleccionadas de México. Instituto Nacional de Salud Pública.
21. Hales S.1996. Dengue Fever Epidemics in the South Pacific Region: Driven by El Nino Southern Oscillation? Lancet 348: 1664-1665.
22. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2003. Cambio climático y salud humana: Riesgos y respuestas. ISBN 92 4 359081 2. Comercialización y difusión, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza.
23. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2008. Cambio climático y salud. Informe de la Secretaría. Consejo Ejecutivo. 122a Reunión. EB122/4.

24. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1997. Impacto de los desastres en la salud pública. OPS, 525 Twenty-third Street, N.M. Washington D.C. 445pp.
25. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 2006. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgo. Fenómenos Hidrometeorológicos. Secretaría de Gobernación. 1ª Edición. México. 139 pp.

8 Índice de la vulnerabilidad Climática para el estado de San Luis Potosí

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 8.1).

Tabla 8.1 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
48	VILLA DE LA PAZ	1	-1.753853158
20	MATEHUALA	1	-1.207270847
7	CEDRAL	1	-1.125990455
15	CHARCAS	1	-0.618896875
51	VILLA HIDALGO	1	-0.562869375
25	SALINAS	1	-0.540345333
33	SANTO DOMINGO	1	-0.458397941
49	VILLA DE RAMOS	1	-0.293598333
45	VENADO	1	-0.187814706
6	CATORCE	1	-0.127374194
56	VILLA DE ARISTA	1	-0.103840938
47	VILLA DE GUADALUPE	1	0.080772432
22	MOCTEZUMA	1	0.111048974
44	VANEGAS	1	0.214412778
17	GUADALCÁZAR	1	0.578414419

clave mpio	mpio	clave región	índice
35	SOLEDAD DE GRACIANO SÁNCHEZ	2	-1.788908421
9	CERRO DE SAN PEDRO	2	-1.751382727
28	SAN LUIS POTOSÍ	2	-1.554623913
21	MEXQUITIC DE CARMONA	2	-0.547902326
50	VILLA DE REYES	2	-0.444751224
46	VILLA DE ARRIAGA	2	-0.439570294
32	SANTA MARÍA DEL RÍO	2	-0.396209149
55	ZARAGOZA	2	-0.275642
43	TIERRA NUEVA	2	-0.178250385
4	ARMADILLO DE LOS INFANTE	2	-0.079471852
1	AHUALULCO	2	0.074943824

clave mpio	mpio	clave región	índice
8	CERRITOS	3	-0.932881136
5	CÁRDENAS	3	-0.902094
11	CIUDAD FERNÁNDEZ	3	-0.873486341
27	SAN CIRO DE ACOSTA	3	-0.350962
24	RIOVERDE	3	-0.290068621
23	RAYÓN	3	-0.278169722
52	VILLA JUÁREZ	3	-0.237901034
30	SAN NICOLÁS TOLENTINO	3	-0.186786333
10	CIUDAD DEL MAÍZ	3	0.033324167
19	LAGUNILLAS	3	0.404415588
2	ALAQUINES	3	0.837336154
31	SANTA CATARINA	3	1.950419545

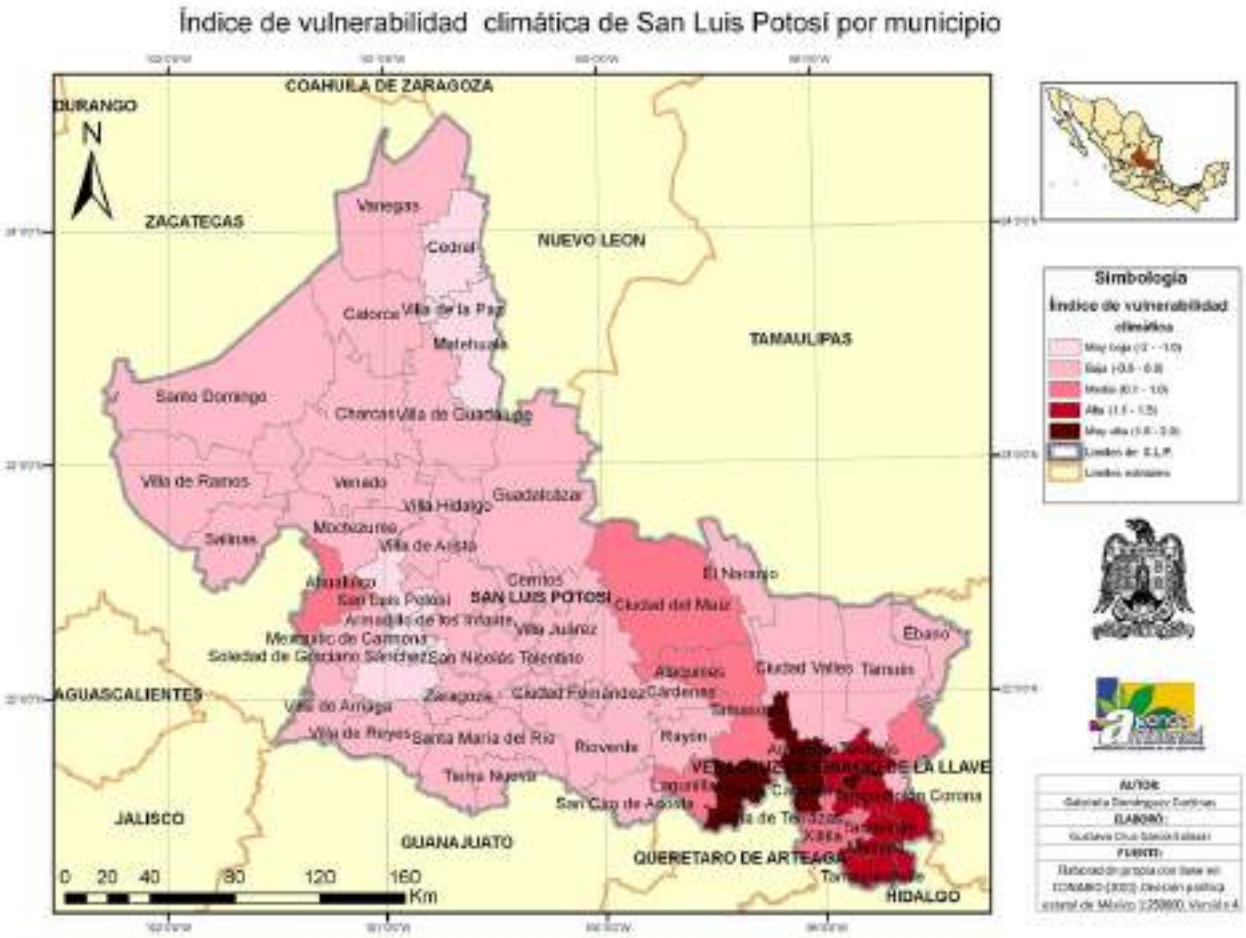
clave mpio	mpio	clave región	índice
58	EL NARANJO	4	-0.894086522
13	CIUDAD VALLES	4	-0.798762059
40	TAMUÍN	4	-0.4542848
16	ÉBANO	4	-0.327775102
42	TANQUIÁN DE ESCOBEDO	4	-0.079497805
36	TAMASOPO	4	0.056439375
34	SAN VICENTE TANCUAYALAB	4	0.311832432
53	AXTLA DE TERRAZAS	4	0.676558235
18	HUEHUETLÁN	4	0.797612381
54	XILITLA	4	0.946950417
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 Chalchicuautla (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.



Mapa 8.1 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).

El primer paso fue la realización de un Análisis FODA para San Luis Potosí con relación al cambio climático.

	Capital humano y social	
	Positivo	**Negativo**
Factores Internos	**Fortalezas**	**Debilidades**
	El Estado cuenta con varios grupos de investigación y gestión del cambio climático: La Agenda Ambiental de la UASLP, el Instituto de Zonas Desérticas de la UASLP; la Facultad de Agronomía de la UASLP. En San Luis Potosí existe un Posgrado Multidisciplinario en Ciencias Ambientales, de la UASLP, que aparte de ser de excelencia, es uno de los cinco más importante del país por su número de alumnos y profesores. Cuenta además con una maestría internacional en la materia con doble titulación con la participación del PMPCA y el Instituto de Tecnología y Manejo de Recursos en los Trópicos y Subtrópicos (ITT) de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, Alemania (CUAS). Cuenta con el grupo del IPCYT (Con un posgrado de excelencia en manejo de recursos naturales) y el Colegio de San Luis. Existe una Ley Forestal y de Protección al Ambiente Estatal. Existe una Comisión Intersecretarial para el cambio climático. Existe un Consejo Consultivo para el cambio climático. En San Luis Potosí existe una agrobiodiversidad extraordinaria y un conjunto de sistemas de producción resilientes, sostenibles y con un alto coeficiente económico.	Existe poca colaboración interinstitucional. La formación de recursos en las áreas ambientales no es prioritaria para el Gobierno del Estado.
Factores externos	**Oportunidades**	**Amenazas**
	El CONACYT, El INE-SEMARNAT y el Gobierno del estado apoyan actualmente la realización del Programa Estatal de Acción ante el cambio climático de San Luis Potosí. Adicionalmente se realizan diversos proyectos en la materia para la CONANP. La existencia de prácticas de manejo forestal que permiten el secuestro de carbono La existencia de técnicas de reforestación para mayor recarga de acuíferos con programa de cultura del agua que incluya la importancia de los bosques La existencia de experiencias sobre mejores manejos del fuego en agricultura (eliminación) y sustitución por composteo para recuperación de suelos.	Marco Nacional institucional y legal deficiente para enfrentar el cambio climático
	Capital financiero	

	Positivo		Negativo	
Factores Internos	**Fortalezas**		**Debilidades**	
	El gobierno del Estado trabaja actualmente, junto con el Federal para obtener recursos financieros aplicables a este tipo de proyectos.		Falta coordinación entre las dependencias. El Gobierno estatal no cuenta con la capacidad financiera para generar proyectos.	
Factores externos	**Oportunidades**		**Amenazas**	
	Existen recursos financieros internacionales disponibles para su aplicación. Existen recursos federales disponibles para su aplicación.		Existen varios estados y países trabajando en estos proyectos, la competencia por recursos es grande.	

	Capital Manufacturado			
	Positivo		**Negativo**	
Factores Internos	**Fortalezas**		**Debilidades**	
	El estado cuenta con una gran infraestructura industrial.		No existe un marco normativo e institucional adecuado para el control de la contaminación. Muchas empresas no tienen responsabilidad social ni ambiental.	
Factores externos	**Oportunidades**		**Amenazas**	
	La opinión pública nacional e internacional empuja a las industrias a ser ambientalmente responsables.		La corrupción, la búsqueda de inversiones a toda costa, sin importar su impacto.	

	Capital Natural			
	Positivo		**Negativo**	
Factores Internos	**Fortalezas**		**Debilidades**	
	El Estado de San Luis Potosí ocupa el noveno lugar nacional en biodiversidad (incluye flora y fauna), esto se debe a la amplia variedad de condiciones climáticas, tipos de suelo, hidrología, geología así como por su ubicación, pues convergen en su territorio las dos regiones biogeográficas del continente: Neartica y Neotropical. En el Estado se encuentran cuatro de las 32 provincias bióticas del país, las cuales son unidades mayores o centros de distribución de agrupaciones generales de especies, dando atención a las relaciones bióticas y a la historia geológica. El criterio de división se basa en rasgos morfotectónicos correlacionados con la distribución de especies endémicas. J. Rzedowski (1966) menciona 13 tipos de vegetación (formaciones), estableciendo que la vegetación de zonas áridas (matorral desértico micrófito, rosetófilo y crasicaule) cubre cerca del 60% de la superficie del Estado, mientras que el bosque mesófilo y la selva alta perennifolia, pertenecientes a la vegetación de zonas húmedas y tropicales, son los menos representados, con apenas el 3%. En San Luis Potosí se encuentran cuatro de las 20 provincias mastofaunísticas y cinco de las quince provincias herpetofaunísticas (CONABIO). Se han registrado 891 especies de vertebrados: 62 especies de peces, 41 de anfibios, 147 de reptiles, 487 de aves y 154 de mamíferos (Martínez de la Vega, 1995, 1999, 2007). Actualmente se desconoce la dinámica particular de los diferentes ecosistemas y por lo tanto se ignora cuáles son los efectos de la variabilidad y el cambio climático sobre los ecosistemas que son nuestra base de sustentación. El proyecto permitirá analizar la dinámica de los		1. La población del estado presenta un nivel de rezago social alto que incrementa los riesgos. 2. Dos forzantes clave: la humedad del suelo y los cambios en el uso de la tierra, se han modificado extraordinariamente. Entre 1976 y 2000 el 38.45% de la circunscripción territorial del estado ha cambiado su uso del suelo, en el mismo periodo, la superficie utilizada para la agricultura se ha incrementado en un 72.5%, eliminando la cobertura vegetal de 886 836.58 ha. 3. El 39% de la superficie estatal presente erosión alta y muy alta, lo que provoca anomalías en el ciclo hidrológico. 4. Un fuerte proceso de desertización 5. Sequías e incendios forestales	

	Capital Natural	
	Positivo	**Negativo**
	ecosistemas y el efecto concatenado de los disturbios de origen antropógeno (cambios en el uso de suelo, sobrepastoreo, contaminación) y de la variabilidad y las anomalías climáticas. Brindando la información indispensable para el establecimiento de una estrategia de adaptación.	
Factores externos	**Oportunidades**	**Amenazas**
	Actualmente se elabora el Ordenamiento Ecológico del Territorio, por parte de la Agenda Ambiental de la UASLP, con apoyo estatal y federal. En cuanto el instrumento se encuentre concluido, se podrán establecer políticas públicas asociadas las diferentes áreas del estado y se podrán iniciar los OET de alta resolución.	1. los resultados del análisis de tendencias sugieren que el clima en San Luis Potosí se ha modificado en los últimos treinta años de diversas maneras. Las tendencias interanuales en la precipitación (pp) son contrastantes (aumento y disminución) y localizadas territorialmente, por ejemplo en la SMO la pp aumentó en Ciudad Valles, en el Pujal Coy, en el centro y oeste de la Sierra Madre Oriental, en la Sierra Cucharas, en Picacho del Bejuco y Sierra La Colmena, la misma variable disminuyó en las localidades de San Antonio del Mezquite, Santo Domingo; Chapulhuacanito, Tamazunchale; Tlamaya, Xilitla; Tanzabaca, Tamasopo; El Naranjo. La temperatura máxima se ha incrementado significativamente en gran parte de los sitios (76% en SME, 62,5% en la PCNO, 50% en la SMO, 46,15% en la PO, 44,44% en la LLRV, 42,85% en la BC); por razones obvias la ETPo ha aumentado en forma similar (69,23% en SME; 57,14% en la BC; 46,15% en la PO); el comportamiento de la pp y la ETPo, han influido en el índice de Aridez (Ari), que aumentó en diversas estaciones, en todas las regiones, en el 80% de la BC; en el 75% de la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO); en el 53,85% de la Planicie Occidental (PO). 2. Los resultados demuestran que la variabilidad de la pp en SLP es extraordinaria, en el 52% de las EC en los años lluviosos hay de 4 a 10 veces más precipitación que en los secos, esta relación

	Capital Natural	
	Positivo	**Negativo**
		se incrementa en el 13% de las EC de 10 a 1000 veces). Además se ha demostrado que en la medida que la aridez aumenta la variabilidad en la pp se incrementa. 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. 3. El régimen mensual de precipitación, temperatura máxima y mínima y evapotranspiración se está modificando en gran parte del estado. Por ejemplo, la precipitación de mayo está disminuyendo en forma estadísticamente significativa en: el 60% de las localidades de la PCNO; en el 57,14% de las EC de SME; y en el 43,33% de las localidades en la SMO. Es curioso que los campesinos de todas las regiones habían notado este fenómeno de corrimiento del periodo de lluvias (en prácticamente todas las entrevistas realizadas se comentó que el inicio del periodo de lluvias se había corrido un mes).. 4. El 20% del territorio corresponde a la llanura costera y al piedemonte de la Sierra Madre Oriental que se encuentra, a su vez, amenazado por fenómenos hidrometeorológicos extremos. 5. Más del 40% del territorio potosino se encuentra en el Desierto Chihuahuense y está, por consiguiente, constantemente amenazada por los efectos de la desertización**.** 6. Centralización y control del recurso agua por el Gobierno Federal. Falta de voluntad política para permitir la participación de la Sociedad en su manejo. 7. Las políticas públicas han llevado a la agricultura a un estado de desastre. 8. Se ignora cuáles pueden ser los efectos geográficos del CC sin embargo es posible aventurar que la cercanía del Estado al Golfo de México aumenta la amenaza que representan los ciclones tropicales sobre la Llanura Costera y

	Capital Natural	
	Positivo	**Negativo**
		el Piedemonte de la Sierra Madre Oriental. Una posibilidad adicional es un posible cambio en la ruta de los ciclones que podría agravar el efecto de sombra orográfica provocado por la distribución y alineación de las sierras que componen el macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental, las cuales actúan como una barrera natural que intercepta los vientos cargados de humedad que provienen del Golfo de México y propician un marcado índice de aridez en la región que penetra más allá del continente, aridez parcialmente aliviada por los ciclones. Esta situación se combina con las diferencias altitudinales, lo que da lugar a climas húmedos y subhúmedos en la región de barlovento (dirección de donde provienen los vientos dominantes), y secos y semisecos en la de sotavento.

Las estrategias de adaptación y mitigación serán construidas siguiendo los siguientes ejes.

Tabla 8.2 Ejes fundamentales de las estrategias de adaptación y mitigación.

Eje 1. Detección y atribución de las diferentes formas del cambio climático.
Eje 2. Mitigación del cambio climático. 2.1 Mitigación de emisiones de GEI. 2.2 Mitigación de efectos del Cambio Climático.
Eje 3. Biodiversidad y agrobiodiversidad.
Eje 4. Aspectos hídricos
Eje 5. Economía
Eje 6. Sociedad

Estrategias de Adaptación y mitigación

Tabla Eje 1. Detección y atribución de las diferentes formas del cambio climático.

Acciones	Factibilidad
Establecimiento de un Comité Intersecretarial estatal sobre cambio climático	Alta
Construcción de un Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, con carácter vinculante y transversal en las políticas públicas del Gobierno del Estado	Alta
Revisión de la legislación estatal para la presentación de iniciativas de reforma que impulsen acciones de mitigación de emisiones de GEI y/o de adaptación al cambio climático	Alta
Conformación de una oficina experta en consecución de recursos externos para apoyar acciones de mitigación de emisiones de GEI y/o de adaptación al cambio climático	Alta
Reorientación del presupuesto ordinario del Gobierno Estatal para la aplicación de las medidas urgentes de adaptación al cambio climático y/o mitigación de emisiones de GEI.	Alta

Alcances geográfico

Circunscripción territorial del Estado de San Luis Potosí

Costo

Sólo los costos indirectos en la operación de las dependencias responsables y co-responsables.

Programas o políticas públicas existentes

Plan Estatal de Desarrollo 2009-2015, en los ejes: “Política Social y Combate a la Pobreza”; “Economía Competitiva y Generadora de Empleos” y “Desarrollo Regional Sustentable”.

Institución coordinadora

Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental.

Instituciones co-partícipes

Secretaría General de Gobierno, Secretaría de Finanzas, Secretaría de Desarrollo Social y Regional, Secretaría de Desarrollo Urbano, Vivienda y Obras Públicas, Secretaría de Desarrollo Económico, Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos, Secretaría de Educación, Coordinación General de Comunicación Social, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaria de Turismo, Secretaría de Salud, Junta Estatal de Caminos, Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF), Comisión Estatal del Agua (CEA), Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (COPOCYT), Coordinación Estatal para el Desarrollo Municipal, Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental.

Oportunidades

Valoración de un bien del dominio público -la atmósfera- cuyo deterioro en su calidad tiene repercusiones económicas y sociales.

Incorporación, dentro de la economía potosina, de los costos económicos de la mitigación de emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático.

Dificultades

Costos financieros de las acciones señaladas en este programa.

Beneficios colaterales

Implementación de políticas que pueden convertirse en detonantes de acciones para el mejoramiento de vida de los habitantes del estado de San Luis Potosí.

Implicaciones de la inacción

Elevación de los niveles de riesgo ante los efectos del cambio climático.

El riesgo ante políticas internacionales de mitigación de emisiones de GEI que los sectores económicos del estado no puedan cumplir en el futuro.

Periodos para evaluación y seguimiento de acciones

Planeación: 6 meses

Inicio: Mes 5

Primeros resultados: Mes 11

Objetivo 1.2: Mejorar sustancialmente el conocimiento sobre los efectos del cambio y la variabilidad del clima en el estado de San Luis Potosí.

Tabla Eje 2. Mitigación del cambio climático.

2.1 Mitigación de emisiones de GEI.

2.2 Mitigación de efectos del Cambio Climático.

Acciones	Factibilidad
Consolidación del Consejo Consultivo de Cambio Climático.	Alta
Generación de un sistema meteorológico estatal moderno y un banco de datos hidroclimáticos en línea (incluyendo pronóstico numérico y vigilancia satelital). Construcción de un Sistema Estatal de Alerta Temprana ante riesgos Meteorológicos y Climáticos	Media
Realización de programas municipales de cambio climático y estudios municipales de riesgo y vulnerabilidad ante el cambio climático. Construcción de estrategias para la restauración de la resiliencia, el incremento de la capacidad adaptativa y la disminución de la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales en SLP.	Muy alta

Objetivo 1.3: Contribuir a la generación de capital humano en mitigación de emisiones de GEI y adaptación al cambio climático

Acciones	Factibilidad
Socialización y divulgación del estudio técnico base para la realización del Programa Estatal ante el cambio climático para el estado de San Luis Potosí (PSLPCC).	Muy alta
Capacitación a académicos y funcionarios gubernamentales de los diferentes niveles, sobre cambio climático y el PSLPCC.	Muy alta
Apoyo a estudiantes de posgrado para la elaboración de tesis sobre efectos del cambio climático y mitigación de emisiones de GEI en el estado de San Luis Potosí.	Muy alta
Capacitación a empresarios en innovación orientada al cambio climático.	Alta
Estancias de 10 especialistas (posgraduados) en cambio climático en empresas importantes de la entidad, así como de expertos técnicos en eficiencia energética y en comercio de emisiones (bonos de carbono).	Media

Objetivo 2.1: Establecer mecanismos y acciones que induzcan la reducción del consumo eléctrico y que mitiguen las emisiones de GEI.

Acciones	Factibilidad
Promoción y gestión para que los ayuntamientos transiten a un sistema de alumbrado público basado en energías no convencionales.	Alta
Implantación de un programa estatal de ahorro de energía en edificios públicos.	Muy alta
Aprovechamiento óptimo de la capacidad instalada de generación de energía.	Alta

EJE 2. EMISIONES

Objetivo 2.1: Establecer mecanismos y acciones que induzcan la reducción del consumo eléctrico y que mitiguen las emisiones de GEI.

Acciones	Factibilidad
Diseño e implantación de auditorías energéticas en edificios públicos.	Muy alta
Promoción del Programa GEI México en la industria potosina con incentivos fiscales locales.	Media
Implantación de un sistema de ahorro de consumo de energía en escuelas públicas de todos los niveles en el estado. Debe incluir un sistema de cogeneración o generación con renovables incluido.	Muy alta
Reducción de pérdidas en la transmisión y distribución de energía.	Media

Objetivo 2.2: Coadyuvar a mitigar las emisiones de GEI mediante el manejo adecuado de residuos.

Acciones	Factibilidad
Establecimiento de un sistema inter-municipal de gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para la utilización de metano con propósitos de cogeneración eléctrica.	Alta
Aprovechamiento del biogás producido por los residuos ganaderos con fines de generación eléctrica.	Alta
Uso de los sistemas de depuración de aguas residuales para el aprovechamiento del biogás generado en generación de electricidad.	Alta

Objetivo 2.3: Reducir las emisiones de GEI generadas por el sector transporte.

Acciones	Factibilidad
Promoción y gestión para que las zonas urbanas transiten a un modelo multimodal de transporte público.	Alta
Implantación de un programa estatal de conducción eficiente en transporte público y privado.	Muy alta
Cumplimiento estricto de la norma de verificación vehicular con el fin de reducir el consumo de combustibles y las emisiones de GEI.	Muy alta

Objetivo 2.3: Reducir las emisiones de GEI generadas por el sector transporte.

Acciones	Factibilidad
Programa de incentivos fiscales para la conversión de transporte público hacia combustibles limpios.	Alta
Implantación de un sistema de transporte con carriles confinados en horas pico.	Media
Implantación de un sistema de monitoreo de calidad del aire en zonas conurbadas, aunado a un sistema de inventarios de emisiones estatales de GEI.	Alta

Eje 3. Integridad funcional de los ecosistemas

Objetivo 3.1: Implantar medidas de adaptación y mitigación de emisiones netas de GEI, orientadas al mantenimiento de la integridad funcional de los ecosistemas como parte de la estrategia para enfrentar el CC.

Acciones	Factibilidad
Establecimiento y consolidación del sistema potosino de áreas naturales protegidas incluyendo corredores biológicos.	Alta
Identificación y mantenimiento de áreas de conectividad ambiental en gradientes altitudinales.	Muy alta
Evaluación del valor de los servicios ambientales y determinación de su relación con la vulnerabilidad de las comunidades marginadas.	Muy alta
Implantación de programas para rescate y fomento de tecnologías y sistemas de producción tradicionales adaptados con especies resistentes a las condiciones potenciales producidas por el CC.	Muy alta

Objetivo 3.1: Implementar medidas de adaptación y mitigación de emisiones netas de GEI orientadas a la conservación de la biodiversidad como parte de la estrategia para enfrentar el cambio climático.

Acciones	Factibilidad
Establecimiento de Modelos de Ordenamientos Ecológicos del Territorio de alta resolución (a nivel de microcuencas).	Alta
Rehabilitación de ecosistemas degradados	Media
Establecimiento de mecanismos de control sobre la quema de residuos agrícolas.	Media
Creación y mantenimiento de una base de datos para la toma de decisiones sobre cambio climático y biodiversidad del estado.	Alta

Objetivo 3.2: Reducir la fragilidad ecosistémica forestal (bosques, selvas, matorrales, humedales) para coadyuvar en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Acciones	Factibilidad
Actualización del Inventario Forestal Estatal.	Alta
Desarrollo de escenarios para identificar vulnerabilidad de diferentes especies ante el cambio climático, para poder identificar políticas de manejo y conservación.	Alta
Desarrollo de programas de restauración de los ecosistemas y de forestación y reforestación.	Alta
Fortalecimiento a la legislación en materia ambiental en lo referente a los cambio de uso de suelo; incrementar la vigilancia sobre cambio de uso del suelo en el estado.	Alta

Objetivo 3.2: Reducir la fragilidad ecosistémica forestal (bosques, selvas, humedales, etc.) para coadyuvar en la mitigación de emisiones de GEI.

Acciones	Factibilidad
Desarrollo de programas de monitoreo y protección forestal.	Alta
Diversificación de la explotación de especies por ecosistema forestal para una vinculación con la población y un manejo forestal sustentable haciendo énfasis en especies nativas.	Alta
Desarrollo de programas de recolección y el mejoramiento de germoplasma forestal para asegurar la permanencia a largo plazo de las especies que constituyen los diferentes ecosistemas forestales.	Alta

Objetivo 3.3: Reducir el efecto del cambio climático en el desarrollo de plagas y especies invasoras en los sistemas productivos y naturales.

Acciones	Factibilidad
Realizar estudios sobre la biología de las especies consideradas plagas. Establecer programas de monitoreo y seguimiento sobre plagas y especies invasoras que podrían exacerbarse con el cambio climático, en función de resultados de la modelación del clima futuro.	Alta
Diseñar acciones de control biológico de plagas y especies invasoras que ya muestren tendencias a la expansión territorial.	Alta
Creación un sistema de vigilancia y alerta temprana (ligado a una base de datos), con especial atención en especies invasoras, plagas y enfermedades forestales.	Alta

Objetivo 3.4: Utilizar las especies silvestres que tienen usos tradicionales, como parte de la estrategia para enfrentar el cambio climático.

Acciones	Factibilidad
Realizar estudios sobre la vulnerabilidad y la resiliencia de los paisajes, ecosistemas, agroecosistemas, servicios ecológicos, y biodiversidad para enfrentar el cambio climático.	Alta
Elaboración de un inventario de especies silvestres con usos tradicionales (comestibles, medicinales).	Alta
Conservación de germoplasma de especies criollas, o parientes silvestres de cultivos agrícolas, con la finalidad de contar con recursos genéticos que puedan eventualmente ayudar a mitigar el efecto del cambio climático.	Media
Mantenimiento de la diversidad genética de especies y comunidades naturales como las de traspatio y agroecosistemas locales.	Alta

EJE 4. AGUA

Objetivo 4.1: Reducir la contaminación como medida de adaptación ante potenciales reducciones de la disponibilidad por efectos del CC.

Acciones	Factibilidad
Realizar un programa de auditorías ambientales a las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales existentes en el estado.	Alta
Favorecer el flujo de recursos económicos hacia la construcción y/o rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales, con esquemas de financiamiento externo.	Alta
Incrementar la vigilancia sobre los generadores de aguas residuales industriales, establecimiento de condiciones particulares de descarga.	Alta

Objetivo 4.2: Pronosticar, en forma oportuna, los caudales de crecientes y niveles del agua en lugares expuestos a inundaciones, para disminuir el riesgo en la población.

Acciones	Factibilidad
Realizar Atlas de Riesgos Naturales para las treinta y tres subcuencas del estado.	Muy alta
Equipar las subcuencas con sistemas de alerta temprana ante fenómenos climáticos y meteorologicos.	Alta
Desarrollar dispositivos de medición y sistemas de comunicación para datos hidrometeorológicos.	Media
Implementar las acciones anteriores como programas integrales en zonas prioritarias.	Alta

Objetivo 4.3: Hacer uso eficiente del agua potable mediante el establecimiento de sistemas de información y mejoramiento de los organismos operadores, como estrategia para enfrentar déficit hídrico por CC.

Acciones	Factibilidad
Difundir los Índices de Gestión del prestador de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.	Alta
Mejoramiento de la eficiencia de los organismos operadores.	Alta

Eje 5. Economía

Objetivo 5.1: Reducir el riesgo del sector turismo ante los efectos del CC.

Acciones	Factibilidad
Elaborar un inventario de los espacios de servicios turísticos susceptibles de ser afectados por los efectos del CC.	Alta
Reconversión de la infraestructura de las zonas turísticas.	Media
Reforestación y restauración ecológica de humedales y de laderas con el fin de proteger las zonas turísticas.	Media

Objetivo 5.1: Reducir el riesgo del sector turismo ante los efectos del CC.

Acciones	Factibilidad
Fortalecer el sistema de tratamiento de aguas residuales en el sector.	Media
Crear un sistema de aseguramiento que contemple los riesgos ante el cambio climático.	Media
Establecimiento de un sistema de monitoreo de los eventos hidrometeorológicos extremos que afectan a las zonas turísticas del estado.	Alta

Objetivo 5.2: Reducción de los efectos del impacto negativo del CC sobre el sector ganadero.

Acciones	Factibilidad
Promoción de sistemas de producción agrosilvopastoriles y diversificación de las fuentes de nutrientes, incluyendo el aprovechamiento de insumos regionales.	Alta
Proponer el mejoramiento genético con el fin de obtener especies resistentes y productivas, aprovechando, sin perderlos, los recursos genéticos pecuarios regionales.	Alta

Objetivo 5.2: Reducción de los efectos del impacto negativo del CC sobre el sector ganadero.

Acciones	Factibilidad
Desarrollo de escenarios de la distribución y comportamiento de plagas y enfermedades del sector ganadero ante cambio climático	Media
Armonización de las unidades de producción con las zonas climáticas.	Media
Impulso de la producción animal apoyada en el bienestar animal, en particular con el diseño de instalaciones pecuarias que minimicen el efecto del estrés térmico y proporcionen condiciones de confort.	Media

Objetivo 5.3: Reducir los efectos del cambio climático sobre el sector pesquero.

Acciones	Factibilidad
Promoción de sistemas de producción pesqueros sustentables, bajo escenarios de cambio climático.	Media
Promover la acuacultura considerando escenarios de cambio climático.	Media
Diseñar e implantar estrategias de recuperación de las especies pesqueras regionales	Media

Objetivo 5.3: Reducir los efectos del cambio climático sobre el sector pesquero.

Acciones	Factibilidad
Promover y difundir la normatividad existente para la conservación de las especies de peces	Media
Evaluar el beneficio económico de modernizar las instalaciones pesqueras artesanales para minimizar los impactos del cambio climático.	Media
Conservación y recuperación de humedales	Media
Identificar nuevas zonas de distribución de especies para oportunidades de aprovechamiento	Media

Objetivo 5.4: Reducir los efectos del CC sobre el sector agrícola.

Acciones	Factibilidad
Construcción de un sistema de monitorización agroclimático, de observación y medición de los elementos del clima; de monitorización geofísica, fenológica y biológica para seguir el rastro del estado que guarda la superficie del terreno, el suelo, y la vegetación y/o los cultivos; de evaluación para determinar las mejores estrategias de uso de la tierra y los recursos hídricos, así como la evaluación de las prácticas agrícolas actuales y las modificaciones; de procesamiento de la información y divulgación; de investigación para estudiar las relaciones entre tiempo atmosférico y clima con el suelo, la hidrología, las formaciones vegetales y los agroecosistemas. Tomado de Campos Aranda (2005, pág. 21)	
Determinación de la aptitud de los diferentes sistemas de producción (tradicionales y convencionales), de diferentes cultivos y tecnologías ante condiciones de cambio climático y su impacto en la economía. Recuperar el conocimiento tradicional que permite la gestión de los sistemas agrícolas de metabolismo orgánico. Recuperaciones de las estrategias autónomas ante el cambio climático.	Alta
Identificación de la distribución de plagas y enfermedades en zonas de cultivo y construcción de escenarios de abajo hacia arriba ante condiciones de cambio climático y su impacto en la producción agrícola.	Media
Construcción de una red agrometeorológica en el Estado con observaciones dos veces por día sobre los siguientes elementos: temperatura, viento, presión, precipitación, y humedad relativa, evaporación, radiación solar, temperatura y humedad del suelo. Con una densidad de 20 Estaciones por cada 500 km^2.	Media

Objetivo 5.4: Reducir los efectos del CC sobre el sector agrícola.

Acciones	Factibilidad
Evaluación de las enfermedades de los cultivos durante sus diversas etapas fenológicas por variaciones en la temperatura y humedad del ambiente.	Media
Determinar cambios en el rendimiento y el coeficiente económico de los principales sistemas de producción agrícola bajo cambio climático	Media
Conocer las percepciones sobre el impacto del cambio climático en agricultores y sus estrategias de adaptación de sus cultivos	Alta
Ordenamiento del sistema productivo mediante el control de los cultivos orientado a las condiciones climáticas	Baja

Objetivo 5.5: Reducir el efecto del CC en los sistemas productivos de café.

Acciones	Factibilidad
Determinación, bajo los escenarios climáticos y a partir de modelos, de los sitios y las condiciones óptimas para el cultivo y calidad del café en los años futuros.	Media
Incorporación de áreas degradadas e improductivas para restauración de acuerdo con criterios de calidad en la producción de café y captura de CO_2, así como la reintroducción de especies con alguna categoría de protección para establecer sistemas agroforestales.	Media

Objetivo 5.5: Reducir el efecto del CC en los sistemas productivos de café.

Acciones	Factibilidad
Incorporación del pago por servicios ambientales a los diferentes sistemas de producción de café para la mitigación de las emisiones de GEI, la conservación de la biodiversidad, belleza escénica, protección y regulación del agua.	Media
Impulsar la producción de café orgánico.	Baja
Impulsar un programa de producción de café de baja altura	Alta

Eje 6. Sociedad

Objetivo 6.1: Reducir los riesgos para la salud relacionados con el efecto del CC.

Acciones	Factibilidad
Establecimiento de programas de prevención y control de vectores de transmisión de enfermedades relacionadas con el cambio climático.	Alta
Diseño de un sistema de vigilancia y prevención de enfermedades basado en muestreo e indicadores de cambio climático.	Media
Realizar inventarios biológicos, a fin de que los vectores puedan monitorearse y determinar los grados de riesgo de transmisión por regiones.	Media
Realizar investigaciones sobre la distribución de enfermedades entre la población ante escenarios de cambio climático.	Media
Desarrollar una campaña de comunicación de riesgos a la salud por efectos del cambio climático.	Media

Objetivo 6.2: Reducir los efectos negativos del CC (disminución del confort térmico y riesgos por hidrometeoros) sobre viviendas y edificaciones.

Acciones	Factibilidad
Reformar la legislación sobre vivienda y urbanización para propiciar edificaciones climáticamente confortables y resistentes a los eventos hidrometeorológicos extremos.	Media
Elaborar e instrumentar un manual de diseño arquitectónico y urbanístico ambientalmente responsable, por franjas altitudinales, a partir de la zonificación bioclimática nacional.	Alta
Propiciar que los fraccionamientos o edificaciones generados o promovidos desde el gobierno, sean los primeros en atender dicha orientación bioclimática y con el enfoque de prevención de desastres por hidrometeoros.	Media

Objetivo 6.2: Reducir los efectos negativos del CC (disminución del confort térmico y riesgos por hidrometeoros) sobre viviendas y edificaciones.

Acciones	Factibilidad
Compromiso de los gobiernos a incorporar dichos criterios a los edificios públicos nuevos o en rehabilitación.	Media
Identificación de zonas de riesgo para los asentamientos humanos, y aplicación de políticas restrictivas estrictas para impedir las edificaciones en ellas.	Media

Objetivo 6.3: Implementar una estrategia de comunicación y vinculación gubernamental para dar viabilidad a las acciones de mitigación y adaptación al CC.

Acciones	Factibilidad
Elaboración de materiales de difusión, con ejemplos del estado para la sociedad	Alta
Mejoramiento de la vinculación interinstitucional entre los diferentes órdenes de gobierno.	Alta
Mejoramiento de difusión hacia la sociedad, de información y planes, con base en la detección de la percepción social sobre el cambio climático.	Alta
Creación de mecanismos de coordinación interinstitucional para la mitigación de emisiones de GEI y adaptación al cambio climático.	Alta

Objetivo 6.4: Considerar la perspectiva de género en la elaboración y aplicación de las acciones de adaptación ante el CC y mitigación de emisiones de GEI.

Acciones	Factibilidad
Desarrollar políticas, medidas y acciones de mitigación de emisiones de GEI y adaptación ante el cambio climático que impliquen el género, y su relación con grupos étnicos de pertenencia y edad, como variables fundamentales.	Alta
Determinar los efectos específicos del cambio climático sobre grupos humanos vulnerables, mujeres, niños, pueblos originarios.	Media
Precisar los patrones de vulnerabilidad ante el cambio climático relacionados con grupos vulnerables en los diversos contextos para definir las estrategias de intervención.	Alta

Acciones	Factibilidad
Lograr acuerdos interinstitucionales con dependencias públicas, privadas y organismos no gubernamentales que promuevan acciones de adaptación y mitigación con equidad de género.	Media
Sensibilizar a los funcionarios públicos para definir agendas de trabajo, diseñar estrategias, programas y presupuesto ante el cambio climático desde la perspectiva de género, así como para su análisis, seguimiento y evaluación.	Alta
Contar con una base de con datos socioeconómicos desagregados por género.	Alta

Objetivo 6.5: Fomentar la capacidad adaptativa de los grupos económica y geográficamente vulnerables ante los impactos del CC.

Acciones	Factibilidad
Elaborar mapas de riesgo y vulnerabilidad a nivel local y municipal que permitan identificar la vulnerabilidad regionalizada para todo el estado ante las amenazas meteorológicas y las asociadas a los cambios climáticos.	Alta
Fomentar la transversalidad y la formación de equipos multidisciplinarios en la implementación de acciones preventivas ante el cambio climático.	Alta
Elaborar bases de datos con información socioeconómica de las regiones con mayor vulnerabilidad.	Media