



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MEDIR EL IMPACTO DEL
FENÓMENO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA Y

PROPUESTA GENERAL DE MANEJO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

MC MARCOS ALGARA SILLER

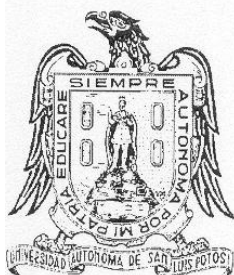
DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

COMITÉ TUTELAR:

DRA. GUADALUPE GALINDO MENDOZA

DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MEDIR EL IMPACTO DEL FENÓMENO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA Y PROPUESTA GENERAL DE MANEJO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

MC MARCOS ALGARA SILLER

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN

SINODALES:

PRESIDENTE: **DR. CARLOS CONTRERAS SERVÍN**

SECRETARIA: **DRA. GUADALUPE GALINDO MENDOZA**

VOCAL 1: **DR. JOSÉ DE JESÚS MEJÍA SAAVEDRA**

VOCAL 2: **DR. ALFREDO ÁVILA GALARZA**

VOCAL 3: **DRA. WANDERLÉIA ELIZABETH BRINCKMANN**

San Luis Potosí, SLP

Agosto 2009

La tesis:

Propuesta metodológica para medir el impacto del fenómeno de la sequía en la Huasteca Potosina y propuesta general de manejo

Fue realizada en:

La Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Que participa en el:

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales con base en la Agenda Ambiental de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Con beca:

CONACyT 193863

Con apoyo de los proyectos:

SAGARPA-2004-C01-186/186/A-1 y UASLP-SENASICA-SAGARPA U200-51A

El Doctorado en Ciencias Ambientales está incluido en el Padrón Nacional de Posgrados del CONACyT

Agradecimientos

Debo agradecer en primer lugar a mi esposa Yolanda por todo su amor y su confianza para llevar a buen término este proyecto; a mi hijo Patricio que, aunque no lo sepa por tener apenas dos años, participó con su alegría durante la parte final de la tesis; a mi mamá Marcela porque siempre me enseñó que cualquier proyecto con el que me comprometiera, debía terminarlo; a mi hermano Gerardo que no me dejó solo en mis días de turismo académico en Grecia; a mi hermano Gonzalo porque discutimos bastante; a mis suegros Yolanda y Raúl porque propiciaron el desarrollo de estos años; a Beto y Laura que no dejaron de preguntar por mis avances de tesis y mi fecha de titulación, casi a diario; a mi prima Paola Algara que lideró el camino al doctorado y se aventó horas al teléfono discutiendo las vicisitudes de los estudiantes de posgrado; a mis amigos de siempre Daniel, Paty, Alejandra, Sergio, Luis Manuel, Luis Antonio y El Choco porque siguen siendo mis amigos; a mis amigos Los Raros, Carlos, Julie, Hugo, Lucía, Diana, Gloria, Willie, Adolfo, Edgar y Kike, también amigos de siempre, por hacerme reír hasta sacarme tres hernias; a los Contertulios, Martín, Angelina, Sugus, Erika, Turro, Estela, Beto y Laura, mis amigos los entonados, por la música y cientos de botellas de tinto.

En el recorrido de la tesis y mis clases en ingeniería, siempre con el tema ambiental en común, estuvieron Alfredo Ávila, Memo Moreno, Israel Razo y Toño Cardona. Los temas de redacción de tesis, consejos de grillas y problemas varios estuvieron a cargo de Lucy Nieto. Con Pedro Medellín discutí de manera reiterada, desde antes del doctorado, algunos temas ambientales y no sé si llegamos a un acuerdo.

Y por supuesto, a mis asesores de tesis por haberme aceptado como tesista y porque seguiremos juntos por algún tiempo más.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO PARA EL ESTUDIO DEL CLIMA	5
1.1. El clima	5
1.1.1. Teoría del calentamiento global	8
1.1.2. Teorías de estado y trabajos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático	14
1.1.3. Estudios climatológicos y de cambio climático en México	19
1.1.4. Métodos de estudio empleados en la climatología	22
1.2. Conceptos para el manejo de la sequía	26
1.2.1. Desastre, amenaza, peligro, vulnerabilidad y riesgo	28
1.2.2. Mitigación, prevención, recuperación y adaptación	34
1.2.3. El fenómeno de la sequía	37
1.3. Importancia de la Huasteca Potosina	39
2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DEL FENÓMENO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA	44
2.1. Localización de estaciones meteorológicas	46
2.2. Creación de software climático	49
2.3. Gráficas y cartografía meteorológica básica digital	51
2.4. Clasificación climática de Köppen modificada por García	52
2.5. Métodos utilizados para determinar el fenómeno de la sequía	56
2.5.1. Moda de precipitación ajustada a la función gamma incompleta	57
2.5.2. Índice de severidad de la sequía	59
2.6. El Niño Oscilación Austral, ENOA	60
2.7. Sistemas de información geográfica para el análisis del fenómeno de la sequía	60

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA -----	62
3.1. Análisis y resultados de la información de precipitación -----	62
3.2. Análisis y resultados de la información de temperatura-----	66
3.3. Análisis de la clasificación climática de Köppen modificada por García-----	72
3.4. Análisis de la moda de precipitación ajustada a la función <i>gamma</i> incompleta -----	74
3.5. Análisis del índice de severidad de la sequía-----	77
3.6. Análisis de la presencia de El Niño Oscilación Austral y la sequía -----	81
3.7. Tendencias de uso de suelo y análisis de los impactos históricos de la sequía -----	85
4. PROPUESTA GENERAL PARA EL MANEJO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA -----	94
4.1. El problema de la sequía en la Huasteca Potosina -----	97
4.2. Propuesta general para el manejo de la sequía-----	109
4.2.1. Manejo general de la sequía -----	110
4.2.2. Particularidades de manejo de la sequía por zona -----	115
4.2.3. Evaluación del manejo-----	118
5. CONCLUSIONES -----	120
BIBLIOGRAFÍA -----	125
ANEXOS -----	134
A.	
A.1. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio -----	134
A.2. Clasificación climática modificada de Köppen (García, 1988) para todo el período de estudio. Elaboración propia. -----	137

A.3.	Clasificación climática por períodos de análisis y sus cambios en temperatura y humedad. Elaboración propia-----	138
A.4.	Resumen mensual de aparición de El Niño y La Niña. Tabla de elaboración propia a partir de datos recopilados por Contreras en trabajo inédito a partir de Jorge Amador, Kevin E. Trenberth, Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú y del Centro de Predicción Climática de EEUU-----	140
B.	Códigos de programación <i>CalculoClimatico</i> y <i>ClasificacionClimatica</i> -	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Localización de estaciones meteorológicas en la Huasteca Potosina y sus alrededores. Elaboración propia, según base de datos Eric III y en correcciones realizadas con cartografía de INEGI, escala 1:250,000-----	48
Figura 2.2	Clasificación climática de Köppen modificada por García para la región de estudio de la Huasteca Potosina (Hernández, 2007) -----	55
Figura 3.1	Precipitaciones anuales en la Huasteca Potosina -----	63
Figura 3.2	Precipitaciones anuales en la Huasteca Potosina y su tendencia -----	63
Figura 3.3	Isoyetas en la Huasteca Potosina -----	64
Figura 3.4	Precipitaciones anuales en la estación El Pujal, Ciudad Valles -----	65
Figura 3.5	Temperaturas anuales en la Huasteca Potosina y su tendencia -----	67
Figura 3.6	Temperaturas mínimas, medias y máximas en la estación El Pujal, Ciudad Valles -----	68

Figura 3.7	Isotermas de temperaturas mínimas para la Huasteca Potosina-----	69
Figura 3.8	Isotermas de temperaturas medias para la Huasteca Potosina-----	70
Figura 3.9	Isotermas de temperaturas máximas para la Huasteca Potosina-----	71
Figura 3.10	Localización de estaciones que disminuyeron su humedad según el tipo de clima para el período 1961-2000 -----	73
Figura 3.11	Precipitaciones anuales en la estación El Pujal, Ciudad Valles y la moda ajustada a la función <i>gamma</i> incompleta -----	75
Figura 3.12	Anomalías de precipitación de acuerdo a la moda ajustada a la función <i>gamma</i> incompleta para la estación El Pujal, Ciudad Valles-----	76
Figura 3.13	Número de estaciones con precipitación 25% por debajo de la moda ajustada a la función <i>gamma</i> incompleta -----	76
Figura 3.14	Índice de severidad de la sequía para los tres períodos de estudio: 1961-1973, 1973-1985 y 1985-2000 -----	78
Figura 3.15	Índice de severidad de la sequía para el período completo de 1961 a 2000 -----	79
Figura 3.16	Sequía media anual graficada con las 46 estaciones de la Huasteca Potosina con 25 años o más con registros. Se muestra la línea de tendencia de los índices -----	80
Figura 3.17	Incidencia de El Niño y La Niña comparada con la precipitación anual de la Huasteca Potosina, discriminando los años con empalmes o aparición del fenómeno fuera de la temporada de lluvias-----	82
Figura 3.18	Distribución temporal del uso de suelo-----	86
Figura 3.19	Historial del crecimiento de la población en la Huasteca Potosina. Gráfica elaborada con datos de: Secretaría de	

	Economía, 1952; Secretaría de Industria y Comercio, 1963 y 1973; INEGI, 1995 y 2000.-----	87
Figura 3.20	Agricultura de riego y severidad de la sequía -----	88
Figura 3.21	Agricultura de temporal y severidad de la sequía -----	88
Figura 3.22	Pastizal y severidad de la sequía-----	89
Figura 3.23	Superficie de bosque y su afectación de sequía -----	90
Figura 3.24	Superficie de selvas y su afectación de sequía-----	90
Figura 3.25	Superficie de zonas urbanas y su afectación de sequía-----	91
Figura 3.26	Superficie de suelo desnudo y su afectación de sequía-----	92
Figura 3.27	Frecuencia de la sequía y superficie de selvas y bosques-----	93
Figura 4.1	Índice de severidad de la sequía de la zona noroeste de la Huasteca Potosina -----	100
Figura 4.2	Índice de severidad de la sequía de la zona noreste de la Huasteca Potosina -----	103
Figura 4.3	Índice de severidad de la sequía de la zona centro de la Huasteca Potosina -----	106
Figura 4.4	Índice de severidad de la sequía de la zona sur de la Huasteca Potosina -----	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Ejemplo de precipitaciones mensuales para el cálculo del índice de severidad de la sequía -----	59
Tabla 3.1	Desglose mensual de los años donde El Niño y La Niña aparecen simultáneamente. Tabla preparada a partir de datos recopilados por Contreras en trabajo inédito a partir de Jorge Amador, Kevin E. Trenberth, Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú y del Centro de Predicción Climática de EEUU -----	81

Tabla 3.2	Ciclones que han impactado en el estado de San Luis Potosí en el período de 1981-2001. Tabla preparada por Contreras en trabajo inédito. -----	83
-----------	--	----

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 4.1	El Naranjo, San Luis Potosí-----	99
Foto 4.2	Tamuín-Ébano, San Luis Potosí-----	102
Foto 4.3	Tamuín-Ébano, San Luis Potosí-----	102
Foto 4.4	Tancanhuitz de Santos, San Luis Potosí-----	34
Foto 4.5	Huehuetlán, San Luis Potosí-----	34
Foto 4.6	Xilitla, San Luis Potosí-----	34

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1.1	Fórmula del riesgo -----	33
Fórmula 1.2	Fórmula del desastre -----	34
Fórmula 2.1	Fórmula de la moda de precipitación ajustada a la función gamma incompleta-----	58
Fórmula 2.2	Fórmula índice de severidad de la sequía -----	59

*Aquí nos dejaste abandonados en esta tierra,
sufrimos cuando se seca el monte, no hay
agua, no hay de comer y siempre sufrimos*
Oración nahua de un *tamatijketl* en la
Huasteca hidalguense para lograr buena
cosecha de maíz
(Szeljak, 2003:120)

INTRODUCCIÓN

El agua ha sido un elemento inseparable de la identidad de los pobladores de la Huasteca Potosina y su historia ha pasado por una sucesión de prácticas agrícolas, cambios de uso de suelo y modelos económicos que han configurado el *intercambio orgánico* sociedad-agua. Aguilar y Torres recuerdan que “los ejes articuladores del intercambio orgánico entre la sociedad y la naturaleza son las prácticas productivas” (Aguilar-Robledo y Torres-Montero, 2005:20). El intercambio orgánico es introducido por Marx para replantear la relación naturaleza-ser humano (Juanes, 1980; Schmidt, 1986) ya que considera que “la relación hombre-naturaleza no es inmediatamente adecuada a la realización del primero” (Juanes, 1980:12) y por esto es necesario transformarla.

Este intercambio sociedad-agua ha sido constantemente puesto a prueba por las variaciones y cambios del clima de nuestro planeta. La sucesión de modos de producción ha librado esta batalla para que las sociedades consigan proveerse de los recursos naturales básicos para su supervivencia. Dice Worster que lo importante es “*entender cómo la tecnología ha reestructurado las relaciones ecológicas humanas*”, es decir, el desarrollo de los medios de producir bienes humanos a partir de la naturaleza (Worster, 2000:46; Cronon, 1990:1125). El cambio climático, derivado de estas mismas acciones de supervivencia, suma elementos de complejidad para el desarrollo de las actividades productivas, la cual requiere de nuevos paradigmas en todos los ámbitos.

Debido a que el cambio climático regional y los impactos de los cambios de los fenómenos naturales que éste produce en las actividades humanas ha sido poco

estudiado, se propone como uno de los principales puntos de partida, el análisis del fenómeno de la sequía de la región Huasteca de San Luis Potosí. Al respecto conviene mencionar que algunas publicaciones en el pasado han tenido como objetivo el estudio de toda la Huasteca como región, misma que para algunos autores comprende hasta seis estados: Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y una pequeña parte del estado de Puebla (Cabrera, 2002:9); y para otros solamente tres: Tamaulipas, Veracruz y San Luis Potosí (Ávila, 1996). Sin embargo, para el presente trabajo se plantea el estudio de la Huasteca Potosina debido a la importancia de sus actividades agropecuarias, la biodiversidad de su entorno natural, su condición de límite norte de las selvas altas perennifolias y la singularidad que conlleva poder estudiar a una menor escala, las particularidades territoriales de una región.

Por otra parte, hasta ahora se cuenta en México con diversos estudios generales sobre los diferentes eventos naturales que pueden derivar en desastres y éstos no hacen mayor referencia a sus implicaciones locales.

El objetivo general de este trabajo es proponer una metodología para estudiar la sequía meteorológica en la Huasteca Potosina y, sobre esta base, formular un plan general de manejo que sirva de base para un futuro Plan Integral de Manejo de la Sequía. La metodología propuesta se deriva de diversos métodos de medición de la sequía, mediante la ayuda de un programa de cómputo creado ex profeso, y de la sobreposición de variables climáticas y cartas de uso de suelo a través del tiempo.

La sequía es un fenómeno climático que siempre ha existido, en menor o mayor intensidad, en todo nuestro Planeta. Este fenómeno toma importancia cuando una comunidad humana se asienta en determinada zona y comienza a utilizar los recursos naturales que tiene a su alrededor para su subsistencia. Es en este momento que, por ejemplo, un déficit de precipitación es resentido en las actividades que la comunidad realiza. Los cultivos, el ganado, las distintas actividades productivas de una sociedad y la calidad de vida de los habitantes se pueden ver en peligro con la falta de precipitación. De acuerdo con Covello y

Sandman (2001), el riesgo es la suma del peligro más la indignación. La sequía es un peligro porque tiene la capacidad inherente de privar de la humedad necesaria que cualquier especie necesita para sobrevivir. Por ejemplo, en el momento que afecta un determinado cultivo, el productor sufre las consecuencias de la pérdida o deterioro de su actividad productiva y entonces se crea la indignación o reacción, además de que el productor agrícola se encuentra en riesgo de pérdidas económicas debido a la sequía.

Por otro lado, Worster (1989) habla de los *modos de producción*, es decir, el análisis de la relación del trabajo-maquinaria y los impactos que éstos producen en la naturaleza. Esta visión coloca a las actividades productivas como el punto de partida para los cambios en el entorno, por ejemplo, la expansión de la frontera agrícola y la deforestación provocada influyen en el patrón de precipitación y temperatura, es decir, se provoca un cambio en la magnitud y frecuencia de las sequías e inundaciones. Este trabajo se concentra en el impacto ocasionado por la sequía para sustentar una propuesta general de manejo.

Los estudios científicos realizados durante los últimos años señalan que el clima está cambiando, afectando a la naturaleza de diversas maneras, por ejemplo, los cambios o tendencias en intensidad y frecuencia de la sequía y las inundaciones. El presente estudio busca relacionar los factores que están provocando dichos cambios, para comprender el comportamiento de los fenómenos de sequía y sus probables afectaciones debido al cambio climático. En un extracto del reporte presentado por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de la ONU en 2001 se habla del problema de “*los cambios en la frecuencia, magnitud y duración de los fenómenos climáticos extremos, que conllevan riesgos importantes derivados del cambio climático para los sistemas ecológicos y los sectores socioeconómicos*” (IPCC, 2001), dentro del contexto de los impactos, adaptación y vulnerabilidad de estos fenómenos debido al cambio climático.

Si bien en el ámbito global se ha puesto énfasis en la importancia de los fenómenos naturales que conllevan desastres que afectan a las actividades de la

sociedad, nuestro país también está poniendo atención a éstos. Durante el IV Foro de Predicción Climática de la República Mexicana (SMN, 2003), se identificaron necesidades y se asumieron compromisos dirigidos a la comunidad científica y a las entidades de gobierno responsables del estudio del clima. Quedó claro que es necesario "...elaborar esquemas de pronósticos regionales, ya que la mayoría han sido a nivel país..." y con estos lograr identificar dónde se "...aciertan o fallan sistemáticamente..." las predicciones del país. Otras necesidades incluyen el impacto socioeconómico como parte de las predicciones, así como la comunicación de los pronósticos hacia los usuarios. Según el documento, esto se logrará a través de la especialización de recursos humanos en el tema.

El estudio comienza con el marco teórico para el estudio del clima para establecer las principales teorías sobre estudios climatológicos, definir los principales conceptos a utilizar y para mencionar las principales características que hacen a la Huasteca Potosina una región importante para este tipo de estudios dentro de nuestro país.

A continuación, se presentan los detalles metodológicos propuestos a partir de la creación del programa de cómputo que sistematiza los cálculos de meteorología básica, así como para la obtención del índice de severidad de la sequía, la moda de precipitación ajustada a la función gamma incompleta. Después, se complementa la metodología con el análisis de la aparición del fenómeno de El Niño para encontrar posibles correlaciones y se detalla el uso de sistemas de información geográfica y la sobreposición de variables para medir el grado de afectación de la sequía en la región.

En la última parte se realiza un análisis de la incidencia de la sequía a partir de una zonificación que permite esbozar una base para su manejo. Dicha propuesta se presenta primero de manera general y luego se hacen recomendaciones según las características de cada zona.

1. MARCO TEÓRICO PARA EL ESTUDIO DEL CLIMA

El sistema climático del planeta es tan complejo que es necesario estudiar desde su historia y propuestas filosóficas, hasta los más modernos modelos y técnicas de análisis. La metodología que se propone en este estudio está respaldada por teorías científicas y por técnicas de medición y modelos que han sido desarrollados durante cientos de años. Esto nos acerca a una más robusta representación del impacto natural-social de la sequía y a obtener mejores herramientas para la aplicación de políticas públicas y las tecnologías necesarias para hacerle frente.

1.1. El Clima

Las características climáticas de una región influyen en mayor o menor medida sobre las actividades socioeconómicas de sus comunidades. Éstas, desarrollan sus actividades básicas de producción dependiendo de su tipo de suelo y vegetación, así como de sus regímenes de lluvia y las temperaturas que se presentan a lo largo del año, por mencionar algunos factores. Aunque la tecnología ha logrado vencer diversos obstáculos climáticos, las variables del clima son indispensables para el desarrollo de las sociedades. De ahí que la variación y cambio de dichas características provoque la alteración en las actividades diarias de las personas. Desde el siglo I a.C., Vitruvio ya hablaba de la importancia de la orientación de las construcciones ya que el cuerpo humano podría salir lastimado por la atmósfera y los vientos húmedos (Vitruvio, entre el año 23 y 27 a.C.).

El concepto de determinismo ambiental nació para explicar las diferencias entre las razas y culturas. Las condiciones naturales de un pueblo definían desde sus capacidades intelectuales hasta sus actividades económicas, y por tanto su nivel de desarrollo. En uno de los primeros tratados que hacen alusión al determinismo

ambiental, *Aires, aguas, lugares* escrito por Hipócrates, el primer médico moderno explica que las tallas de los europeos son más variadas que las tallas de los asiáticos debido a que “*la calidad del semen varía durante su coagulación y esta ocurre con mayor frecuencia durante cambios constantes en las estaciones, que cuando éstas son menos contrastantes*” (Hipócrates, alrededor del 400 a.C.: parte 23), esto en relación a que el clima asiático es muy uniforme a lo largo del año, comparado con el clima templado europeo donde las estaciones son muy diferenciadas. *El espíritu de las leyes*, que Montesquieu escribió en 1748, introduce una máxima determinista en medio de su disertación sobre el modelo político inglés y la separación de poderes, diciendo que “*Antes de todas las leyes están las naturales*” (Montesquieu, 1821:5). Un siglo después, en 1859, sale a la luz el éxito de Darwin *El origen de las especies*, con el que se alentaría el determinismo ambiental para explicar la superioridad de las razas.

Por otro lado, el posibilismo de Paul Vidal de la Blache, dice que la cultura y el ingenio humanos son utilizados para lograr sus fines de supervivencia y desarrollo, dentro de un abanico de posibilidades que la naturaleza ofrece (Crosby, 1995:1183).

El medio o ambiente natural es el resultado de la compleja relación de elementos como el tipo de suelo, relieve, flora, fauna y clima. Para comprender el clima, y por tanto la climatología, hay que comprender primero la meteorología. Los griegos llamaban meteoros a los fenómenos que sucedían en la atmósfera. La meteorología, entonces, es la ciencia que estudia la atmósfera y sus fenómenos. Una vez medidos estos fenómenos, se registran a lo largo del tiempo y se analizan y estudian sus relaciones con el medio natural para lograr describir su manera *normal* de comportamiento, a lo que se llama clima. Julius Ferdinand von Hann, quien es estimado como el padre de la meteorología moderna, define al clima como “*el conjunto de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto cualquiera de la Tierra*” (Cuadrat y Pita, 2004:9; y García, 1986:7). Con esto podemos definir a la climatología como la ciencia que estudia la distribución espacial de los climas y su relación con las

características naturales. En síntesis, es la relación de los fenómenos meteorológicos con el relieve, suelo y vegetación de un lugar, a través del tiempo.

A pesar de la definición de los conceptos de meteorología y climatología, es común que éstos se intercambien. Por ejemplo, se habla de estaciones climatológicas cuando se quiere decir estaciones meteorológicas, es decir, las estaciones dedicadas a medir y registrar los eventos atmosféricos. En una estación meteorológica sólo existen instrumentos de medición, y el recurso humano comúnmente se limita a leer los registros, anotarlos y transmitirlos a los laboratorios u observatorios meteorológicos o climatológicos para realizar diversos estudios. En la actualidad, la automatización de las estaciones meteorológicas, por medio de sistemas informáticos, deja a la intervención humana sólo tareas de mantenimiento de los equipos.

Debido a la importancia de la climatología y por tanto de la meteorología, se funda en 1873 la Organización Meteorológica Internacional, que en 1950 se convirtió en la Organización Mundial de Meteorología (OMM), dependiente de la Organización de Naciones Unidas (ONU). Esta organización aglomera actualmente a 188 países y territorios, los cuales aportan sus registros y estudios meteorológicos para crear una red mundial de meteorología e hidrología. Las bases de datos creadas por esta red han servido para realizar los grandes estudios globales del clima, sus cambios y efectos en el medio. A partir de esta información se ha podido modelar el clima del pasado y futuro, así como detallarlo en el presente. Se han creado modelos climáticos basados en el balance de energía, modelos de complejidad intermedia dinámicos y modelos climáticos globales o modelos generales de circulación. Los modelos han sido creados para simular el comportamiento climático en el tiempo, a partir de las variables meteorológicas registradas.

1.1.1. Teoría del calentamiento global

La temperatura de la Tierra sigue un ciclo natural de calentamiento-enfriamiento que dura aproximadamente 100 mil años, según estudios glaciológicos realizados en burbujas de aire atrapadas en muestras de hielo de la Antártica (IPCC, 2001:137). Esta variación en temperatura es directamente proporcional a las concentraciones encontradas de metano y dióxido de carbono. La relación coincide con las concentraciones de estos elementos que se han registrado en tiempos modernos y que corresponden también a un aumento en la temperatura global del planeta. Hablamos entonces de un cambio climático, ya que difiere de las características recurrentes de variación natural. El cambio climático se refiere al cambio o alteración del ciclo natural, es decir, al cambio en las fluctuaciones de temperatura y precipitación con respecto a las que normalmente ocurren. Como ya se demostró anteriormente, este cambio es principalmente producto de las actividades humanas, aunque naturalmente también son producidos.

Hay que recordar que las capas de la atmósfera están diseñadas para cumplir con el papel de filtros selectivos para la radiación solar y la radiación de la Tierra, logrando un balance energético que propicia la vida terrestre. El dióxido de carbono y otros elementos, producidos por nuestras actividades diarias, han formado una capa atmosférica extra a las que naturalmente existen, impidiendo que parte del calor que la Tierra emite en forma de radiación infrarroja, escape hacia el espacio. A esto se le ha llamado *efecto invernadero*. Los causantes del efecto invernadero son varios gases que se encuentran y se emiten tanto de manera natural, como a través de nuestras actividades diarias. Los principales gases, llamados gases de efecto invernadero son: vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y clorofluorocarbonos.

El desequilibrio entre la energía que entra y sale de nuestro planeta se mide con el forzamiento radiativo en unidades de W/m^2 . Este corresponde al cambio en la radiación neta en la tropopausa, es decir a los cambios entre energía solar y radiación infrarroja. La tropopausa es la capa divisoria entre troposfera y

estratosfera, ubicada alrededor de los 10 km de altitud. El desequilibrio es propiciado por fenómenos naturales como las cenizas de los volcanes, el impacto de meteoritos o debido a cambios en la radiación solar derivados de las manchas solares y de las variaciones orbitales. A su vez, los gases de efecto invernadero producidos en exceso o de manera desproporcionada por las actividades humanas también participan en el desequilibrio de la radiación neta. Los efectos de desequilibrio de éstos gases se han logrado integrar a modelos de cambio climático que intentan proyectar comportamientos futuros. Éstos están basados en las leyes físicas de la dinámica de la atmósfera y océanos.

El calentamiento global es uno de los temas que más ha atraído la atención de científicos desde el descubrimiento del agujero en la capa de ozono en 1960 por Sir Gordon Dobson. El mexicano Mario Molina anuncia en los 90's que dicho agujero es producido por los clorofluorocarbonos. Al mismo tiempo, el tema del impacto negativo de los pesticidas también logró un importante impacto en la naciente consciencia ambientalista, gracias al texto de Rachel Carson *Naturaleza silenciosa*, publicado en 1962 (Carson, 2002). Aunque el debate al respecto continua, los estudios sobre los contaminantes de origen antropogénico y su efecto sobre el clima se han multiplicado exponencialmente y hoy en día se conoce un poco más sobre como impactan a la atmósfera.

Es común asociar al cambio climático con los momentos históricos anteriormente mencionados, sin embargo, desde la antigüedad, el cambio climático ha sido motivo de reflexión para pensadores de diversas disciplinas. Glacken estudió a los autores clásicos y sus ideas sobre la relación de la naturaleza y el ser humano. En su texto *Huellas en la playa de Rodas* (Glacken, 1996), el autor logra extraer la visión que los pensadores clásicos, que vivieron alrededor del inicio de la era cristiana, tenían sobre el entorno natural. Los temas ambientales que se ubican en esa época incluyen: la consciencia del poder de los humanos sobre la naturaleza y la búsqueda de una cooperación entre ambos; los cambios en la productividad de los suelos debido a su incorrecta manipulación; una idea del envejecimiento de la tierra o desgaste natural; y la atribución de los

cambios del entorno a las decisiones de los gobiernos. Estos temas son explicados por diversos autores como el resultado de la demostración de grandeza de la raza humana o por la necesidad de subsistencia.

El primer paso en la concepción del cambio climático era saber si era posible para el ser humano cambiar el clima. Esto lo formuló Teofrasto (372-288 a.C.) al detallar regiones pequeñas en Tesalia donde las heladas en aumento amenazaban los viñedos y los olivos, que antes eran vigorosos y fuertes, y que casi habían desaparecido (Glacken, 1996:147). Hesíodo (siglo VIII a.C.), el más antiguo de los poetas, habla del cambio natural como el resultado esperado por la búsqueda de la satisfacción de las necesidades humanas (Glacken, 1996:148). Esta referencia, quizá la más antigua, data del siglo VIII a.C., muestra que la idea del impacto de las actividades humanas sobre el medio no es nueva. Posidonio (135-51 a.C.) y Panecio (185-110 a.C.) van más allá de la necesidad humana como fuente del cambio y creen que éste es fruto del propósito divino mediante el cual la raza humana coopera para lograr mejorar la condición primitiva de la naturaleza (Glacken, 1996:159). Eratóstenes (276-194 a.C.), por su parte, dijo que las decisiones de los gobiernos regían el cambio del medio y su magnitud. Para ejemplificar, Glacken recuerda que aunque los egipcios bebían cerveza, fueron los griegos los que impusieron el gusto por el vino y se crearon grandes extensiones de viñedos en Egipto (Glacken, 1996:142). Quizá el primer análisis sobre la erosión y su impacto en la producción del suelo la hizo Platón (427-347 a.C.). Platón se da cuenta que la erosión del suelo es producida por causas naturales y por actividades humanas, incluso habla de efectos acumulativos que provocan el cambio en el paisaje (Glacken, 1996:140). En el mismo texto de Glacken se extrae la visión de Estrabón (63-19 a.C.) acerca del manejo de la sequía a través del correcto uso de las aguas del Nilo que los egipcios lograron (Glacken, 1996:145). Varios siglos después, Alberto Magno (1193-1280 a.C.) atribuye el aumento de temperatura en ciertas regiones a la deforestación (Glacken, 1996:147).

El debate ambiental parece similar al actual: el ser humano debe dominar a la naturaleza, es decir, la concepción de Marx, llamada ahora *materialismo*

dialéctico, del ser humano como soberano de la naturaleza; o su extremo opuesto, el pesimismo ambiental, que culpa a la dominación humana o libertinaje humano sobre la naturaleza como la causante de los padecimientos de la tierra, según afirmaciones de Clive Ponting y Malthus (Arnold, 2000:53).

Arnold plantea al ambiente no sólo como el lugar donde se desarrolla la vida natural y humana, sino como “*el campo de batalla donde han contendido ferozmente ideologías y culturas*” (Arnold, 2000:11). Estas batallas se han librado con las armas conceptuales que diversos términos ofrecen, como el término *oecologie*, introducido por el biólogo alemán Ernst Haeckel, acuñado para estudiar la relación entre organismos vivientes desde un enfoque no antropocéntrico, hasta la entrada del paradigma ambientalista que, desde una visión antropocéntrica, coloca a la naturaleza como “*un reflejo o una causa de la condición humana, sea física, social o moral*” (Arnold, 2000:16) y proporciona todo el abanico de interpretaciones entre el materialismo dialéctico y el pesimismo ambiental.

La teoría del sistema natural en equilibrio que se basta y se reestablece a sí mismo, ha sido desechada por algunos investigadores. En cambio, la desmitificación del equilibrio ecológico ubica al sistema natural como un sistema que no permanece inmóvil a lo largo del tiempo, ya que éste incluye procesos de flujos de energía y materia que finalmente resultarían en la entropía o autodestrucción del sistema. Su contraparte, la neguentropía o la capacidad de autorregulación del sistema daría como resultado un sistema que nunca moriría, organismos, ecosistemas o planetas que nunca dejarían de existir. Esta teoría se popularizó en 1979 gracias a la publicación de James Lovelock, científico de la NASA, *Gaia: A New Look at Life on Earth*, en el cual su *ciencia del sistema tierra* o la *teoría Gaia* explica a nuestro planeta como un sistema vivo autorregulatorio, la homeostasis del sistema tierra. Vemos en este debate, una postura teleológica que evoca un fin predeterminado contra un naturalismo filosófico donde la naturaleza es un ente sin propósito específico.

A pesar de cualquier teoría, los estudios más recientes muestran, de manera concluyente, que las actividades humanas han acelerado el proceso de cambio del

sistema natural en la tierra. Por otro lado, el grado de cambio debido a estas actividades no se ha podido cuantificar con exactitud, y por esto la dificultad de su predicción a futuro.

El cambio climático natural, no antropocéntrico, es un proceso que comenzó con la formación de nuestro planeta. El cambio climático antropocéntrico comienza con la aparición del ser humano. La concepción del *mito prístino* o de una naturaleza anterior perfecta y utópica, y del mito del *buen salvaje*, utilizado por radicales para exacerbar el deterioro actual del ambiente por parte de las sociedades modernas capitalistas, han sido puestos en duda a la luz de varios estudios que demuestran lo contrario. Denevan hace una reconstrucción de la historia ambiental en la época de la conquista del continente americano y encuentra que las poblaciones indígenas o *salvajes* habían impactado su entorno natural antes de la llegada de los españoles (Denevan, 1992). Butzer y Butzer encontraron una alteración visible y persistente sobre la vegetación del Bajío en México por parte de comunidades prehispánicas, debido a tierras intensamente cultivadas con maguey (Butzer y Butzer, 1997).

Como ya se vio, el concepto de cambio climático ha estado presente en nuestra historia por lo menos durante los últimos 2,700 años. Dentro de las corrientes que buscan señalar al responsable del cambio acelerado del clima, todos coinciden en que la necesidad de supervivencia y convivencia del ser humano resulta en una alteración del entorno natural, que en mayor o menor medida, altera a su vez el comportamiento climático. Con esto, la preocupación de un ambiente degradado que pone en peligro la producción de nuestros satisfactores básicos no es nueva. La época en que vivimos ofrece adelantos técnicos con los cuales se ha logrado medir, tanto los causantes, como el grado del cambio y tenemos la posibilidad de crear escenarios futuros para lograr mecanismos de prevención, mitigación y adaptación.

Es necesario hacer notar que la variabilidad climática natural se presenta en ciclos. Por otro lado el cambio climático, ya sea debido a fluctuaciones climáticas naturales como al efecto derivado de las acciones del ser humano, es una

tendencia de las condiciones medias de las variables climáticas. La comunidad científica del mundo, a través de instituciones y organismos mundiales se ha declarado convencida de los grandes cambios climáticos. Para muestra una cita de los científicos potosinos que se dicen convencidos de:

“...que el recurrente número de desastres naturales que recientemente han acontecido a lo largo y ancho del globo terrestre es causa del cambio climático...” (Pulso, 7 de octubre de 2005).

Las fluctuaciones climáticas naturales y el resultado de las actividades humanas han producido, entre otros, un aumento en el efecto invernadero, adelgazamiento de la capa de ozono y sus respectivos efectos negativos al entorno. Cuando un parámetro meteorológico, como temperatura o precipitación, se registra en diferente magnitud, comparado con su media calculada de muchos años, entonces se habla de una anomalía climática. Esta anomalía puede ser el resultado de cambios en la intensidad de la radiación solar, como fuerza natural, o del aumento de gases de invernadero y los cambios de uso de suelo, como ejemplo de fuerzas antropogénicas. Es un reto encontrar las relaciones causa-efecto de los cambios y la variabilidad climática para realizar predicciones que aporten beneficios a las actividades humanas (Martínez y Fernández, 2004).

Por otro lado, El Niño Oscilación Austral o simplemente El Niño es uno de los fenómenos que se relaciona directamente con algunos cambios en los patrones meteorológicos normales de una región. En Canadá se ha estudiado el fenómeno de El Niño y La Niña y la relación que estos tienen con la disponibilidad de humedad. En su estudio de los patrones de la sequía en Canadá, Shabbar y Skinner encontraron que de El Niño deriva un déficit de humedad en la mayor parte de Canadá occidental, en contraparte del aumento de humedad en el verano para la misma zona y para el sureste de ese país debido a la Niña (Shabbar y Skinner, 2004).

El fenómeno de El Niño, en el contexto de México, provoca generalmente aumentos en las lluvias de invierno, en Baja California Norte y parte de Sonora.

Los efectos de El Niño en verano son de disminución de precipitación en todo el país y trae consigo sequías que pueden llegar a ser tan severas, como la 1997-1998, años en que el país registró pérdidas agrícolas importantes y provocó incendios forestales. Esto se debe a que en presencia de El Niño, la Zona Inter-Tropical de Convergencia quede más cerca del Ecuador y más lejos de México, provocando menores lluvias (Magaña et al., 2004). El Niño para los años 1997-1998 fue estudiado por Filonov y su grupo de investigadores donde documentan que en efecto hubo descenso en la salinidad superficial y un incremento de la temperatura del Océano Pacífico en la región del Suroeste de México (Filonov et al. 2003). Fenómenos naturales como la sequía e inundaciones son alterados por estos cambios climáticos y pueden hacer más agudos sus efectos en las actividades humanas (IPCC, 2001).

La variabilidad del clima tiene un efecto también en la calidad del aire en zonas urbanas. Esto es debido a que la humedad relativa y la temperatura está directamente relacionada con las características fisicoquímicas del smog y la formación de aerosoles (Magaña y Gay, 2001).

1.1.2. Teorías de estado y trabajos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

Uno de los temas que dio inicio a la cooperación entre estados nacionales para estudiar y hacerle frente al deterioro del ambiente, fue la contaminación de aguas que afectaban a dos o más países, esto a principios del siglo XX. El gobierno canadiense promulgó el Tratado de Fronteras de Aguas Internacionales en 1909 con el propósito de impedir la contaminación de las aguas de otros países. Este tratado llevó a una Comisión Internacional Conjunta para regular la contaminación de los mares entre EEUU y Canadá. El problema de los mares fue atendido con mayor atención a estudios que mostraban altos contenidos de mercurio en peces y gracias a los famosos derrames petroleros de los años 60s y 70s.

La lluvia ácida, otro de los temas que participan del cambio climático y que es producto de contaminantes atmosféricos, obtuvo el reconocimiento europeo gracias al sueco Svante Oden que en 1967 logró una política pública en su país, para posteriormente introducir el tema en la Conferencia del Ambiente Humano de la Organización de las Naciones Unidas en Estocolmo 1972 (Wildavsky, 1989), la cual es considerada por la UNESCO como la fundadora de los temas ambientales a nivel mundial. Poco después se logró un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y Canadá en 1978, creando el Research Consultation Group para estudiar los efectos transfronterizos de la lluvia ácida. El resultado directo de este problema de contaminación fue el Acuerdo de Calidad del Aire de 1991 entre estos dos países. Siglos antes, en los años 1661-1662, ya se había reconocido que las actividades industriales de Francia e Inglaterra afectaban a ambos países mediante sus emisiones industriales. Pero no fue hasta 1872 que Smith utilizó el término *lluvia ácida* (Nixon and Carrant, 1998).

Además de los resultados de investigaciones científicas que muestran el cambio que está teniendo el medio natural de nuestro planeta, la opinión pública ha jugado un importante papel para que las autoridades de estados nacionales incluyan el tema del ambiente dentro de sus agendas, al principio quizá solo como discurso, pero distinguiéndose una tendencia a trascender dicho discurso, mediante la acción concreta. Una de las pruebas de esta consciencia es la gran cantidad de investigación científica que busca esclarecer la dinámica del cambio climático y lograr medidas que sirvan para aminorarlo o hasta frenarlo.

La ONU, a través de su Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA o UNEP del inglés United Nations Environmental Programme) es el organismo más importante a nivel internacional que busca conciliar la ciencia con las políticas de estado para una mejora de nuestro entorno natural. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC), más conocido por IPCC (del inglés Intergovernmental Panel for Climate Change), nace derivada de la PNUMA y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Sus objetivos originales eran recopilar los diversos análisis realizados por diferentes

cuerpos de investigación alrededor del mundo para documentar las concentraciones de dióxido de carbono y los demás gases de efecto invernadero. Esta información es utilizada para determinar los factores que participan en dicho cambio y poder así construir escenarios a futuro que sirvan como base para la propuesta de líneas de acción para controlarlo. Además de los resultados científicos, la información socio-económica es importante para evaluar los impactos y vulnerabilidad que el cambio climático ejerce sobre la sociedad.

De acuerdo con el IPCC, que compila las aportaciones de expertos de diferentes países en temas de clima, (IPCC, 2001):

“El cambio potencial de la frecuencia, de la intensidad y de la persistencia de los valores climáticos extremos (por ejemplo, en las olas de calor, las precipitaciones intensas y las sequías) y de la variabilidad del clima (por ejemplo, en el fenómeno El Niño-Oscilación Austral (ENOA)) se está configurando como un factor determinante clave de los impactos y de la vulnerabilidad en el futuro.”

Es importante notar que la importancia de dichos documentos radica en la base científica, es decir, en la justificación mediante resultados robustos para que los gobiernos decidan implementar políticas públicas tendientes a la protección de nuestro entorno natural. El medio de discusión por parte de los países miembros del IPCC han sido los diversos foros mundiales que se han llevado a cabo desde los 60s.

Actualmente, existe una gran cantidad de estudios sobre el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero y su posible proyección a futuro, sin embargo, los resultados de los modelos difieren en el grado del cambio en la temperatura que sufrirá nuestro planeta en el futuro, pero coinciden en dicho aumento.

Los principales modelos de cambio climático que se han creado son los llamados Modelos de Circulación General y Modelos de Circulación General de los Océanos. La ventaja de estos modelos es que no son lineales, es decir, no tienen un comportamiento lineal a través del tiempo y los más modernos se realizan de

manera tridimensional (IPCC, 2001:94). La importancia de los océanos recae en su alta capacidad térmica, su gran influencia en el ciclo hidrológico y en la absorción e intercambio de dióxido de carbono que se produce en ellos. Es importante mencionar que debido a la complejidad y cantidad de las variables climáticas, los modelos de cambio climático no corresponden a predicciones, si no, más bien a proyecciones climáticas. Otra característica de los modelos desarrollados hasta el momento es que arrojan resultados que coinciden de buena manera en la proyección de los cambios de temperatura global, pero difieren en la definición de los patrones climáticos. El comportamiento regional climático es particularmente complicado y existen apenas algunas herramientas computacionales para su estudio. Podemos resumir que los modelos climáticos son sistemas no lineales que no “predicen” y es necesario recurrir a la construcción de escenarios para su estudio.

El trabajo del IPCC analizó diversos escenarios futuros sobre la emisión de dióxido de carbono, dióxido de azufre y los cambios en temperatura y nivel de los océanos que se podrían esperar dadas las características de emisión (GIECC, 2001:11). Los escenarios planteados en el Informe Especial de Escenarios de Emisiones (IE-EE) de este reporte son: a) Emisiones de CO₂ proyectadas, b) Concentraciones proyectadas de CO₂, c) emisiones antropogénicas de SO₂, d) proyección del cambio de la temperatura media del planeta, y e) proyección del aumento en el nivel del mar en el planeta. El reporte contiene el resultado de 35 modelos.

El IPCC creó un listado, llamado el Anexo I, el cual está conformado por los países desarrollados, bajo el supuesto de su mayor participación en la emisión de partículas contaminantes y por esto con mayor responsabilidad de llevar a cabo acciones para disminuir dichas emisiones. El Anexo B, que incluye a la mayoría de los países del Anexo I, son los países que ratificaron su compromiso de reducción de emisiones de GEI. Existe el listado del no Anexo I, formado por países en vías de desarrollo que no tienen que participar en los objetivos de reducción de emisiones GEI.

La Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro se llevó a cabo en 1992 y adoptó la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC) que entró en vigor en 1994 y en la 3ª Conferencia de las Partes (COP-3), en 1997, se adopta el Protocolo de Kyoto el cual entró en vigor en 2005.

Por un lado, la Convención Marco tiene como objetivo lograr “...*la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.*” (CMNUCC, 1992:4). En la Convención Marco también se habla de responsabilidades compartidas pero diferenciadas en función del desarrollo y capacidades de cada Estado y de sus emisiones actuales e históricas.

Por otro lado, el Protocolo de Kyoto, que introdujo el sistema de mercado de bonos de carbono, es un compromiso para reducir las emisiones de los 37 países incluidos en el Anexo B (casi todo el Anexo I) a niveles del 5.2% por debajo de las emisiones registradas en 1990, meta a lograr en el período de 2008-2012. Para lograr el cumplimiento de los compromisos se crearon tres mecanismos de flexibilidad: la Implementación Conjunta (IC) que permite la puesta en marcha de proyectos de reducción o captura de emisiones promovidas por un país listado en el Anexo B en territorio de otro país del mismo anexo, contabilizando la reducción a su propia cuenta; el Comercio de Emisiones (CE) que trata del comercio de permisos de emisión entre los países del Anexo B; el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) que permite a los países del no Anexo I a comerciar con sus emisiones, vendiendo sus Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) que se hayan derivado de proyectos de mitigación registrados.

Además de las acciones realizadas por los estados participantes en el PNUMA, la mayoría de los países con sistema político basado en partidos cuentan con un partido verde o ambiental. Estos partidos han sido fundados bajo la premisa de gobernar a través de políticas de conservación del ambiente como base del desarrollo de los estados.

También es importante la mención de los Organismos No Gubernamentales dedicados al tema de la protección al ambiente. Diferentes medidas ambientales

han sido promovidas por grupos como Sierra Club, que fue fundada como una organización conservacionista en Estados Unidos en 1892 y adoptó acciones ambientalistas concretas en los años 60s. Amigos de la Tierra o Friends of the Earth (1971) cuenta con organizaciones en 70 países. Pollution Probe, grupo fundado por estudiantes de la Universidad de Toronto lograron entre otras cosas, la prohibición del uso de DDT en Canadá en el mismo año de su fundación, 1969. Greenpeace, también fundado en Canadá en 1971, organiza demostraciones alrededor del mundo para llevar el mensaje de la protección al ambiente. Quizá el primer organismo con fines de protección al ambiente data aún antes del auge del ambientalismo. El grupo hindú Chipko Movement dice haber sido fundado en 1730 cuando los habitantes de la comunidad de Khejarli se unieron para evitar que los soldados del Maharajá de Jodhpur talaran la especie de árboles *prosopis cineraria*, conocido en la India como *kherji*, que es utilizado para madera de construcción.

1.1.3. Estudios climatológicos y de cambio climático en México

La misma razón que animó a la investigadora Enriqueta García para hacer las modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarla al sistema climático mexicano, es una de las principales razones para realizar estudios de climatología en México: la existencia de gran variedad de climas y los cambios drásticos de características naturales que se presentan en cortas distancias (García, 1986:66). De esta complicada realidad climática deriva un gran aporte de recursos naturales y biodiversidad. Contar con estudios que relacionen las características atmosféricas con las del suelo y vegetación, es la base de un mejor aprovechamiento de dichos recursos, lo cual ayudará a su vez a lograr una mayor eficiencia en las actividades productivas.

México se encuentra, en los países del No Anexo I del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Esto quiere decir que nuestro país no

tiene la responsabilidad que tiene un país desarrollado, adherente al Anexo I, de reducir sus emisiones contaminantes. No obstante, se ha firmado el compromiso de reducción de estas emisiones y recientemente se ha planteado una Estrategia Nacional de Cambio Climático, la cual requiere a las secretarías de estado entregar un Reporte Público Anual de Acción Climática que detalla las actividades que cada sector público ha logrado para lograr un desarrollo “más limpio y respetuoso del ambiente, para lo cual es indispensable reducir el volumen de emisiones contaminantes, pero sin comprometer el crecimiento económico” (SENER, 2006). Estas acciones están encaminadas al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto que busca la reducción de emisiones y la captura de gases de efecto invernadero (CICC, 2006).

De acuerdo con el documento del CICC (2006:3), “*el cambio climático es un problema de seguridad estratégica nacional (y mundial)...*” que requiere de medidas de mitigación como la reducción de emisiones de GEI y habla de la necesidad de adaptabilidad sobre los impactos adversos que se prevén. Además se reconoce que México ocupa el lugar 14 entre los 25 países de mayor emisión de GEI, con un total de 512 millones de toneladas de CO₂ equivalente (VT CO_{2e}) lo cual representa el 1.5% de las emisiones totales del planeta, aunque el país se encuentra en el lugar 76 de emisiones per cápita (CICC, 2006, p 6).

Por su parte, el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua CNA organizó el IV Foro de Predicción Climática en la República Mexicana (CNA, 2003), en la Ciudad de México, y según los resultados de este foro se redactaron una serie de necesidades y compromisos. Quedó claro que es necesario elaborar esquemas de pronósticos regionales, ya que la mayoría han sido a nivel país, y con estos lograr identificar dónde se aciertan o fallan sistemáticamente las predicciones del país. Se dijo que es necesario también un ejercicio de validación de los pronósticos con años anteriores. Otras necesidades incluyen el impacto socioeconómico como parte de las predicciones, así como la comunicación de los pronósticos hacia los usuarios. Todo esto fortalecido con la especialización de recursos humanos en el tema.

Estas necesidades y compromisos también se derivan del hecho de que la mayoría de los estudios de predicción y cambio climático se han realizado por países desarrollados, aplicados a su contexto físico y que no concuerdan con el entorno mexicano. Por esto, la necesidad de contribuir con las necesidades expresadas en el foro y lograr un estudio regional, cuyo modelo podrá ser utilizado en el mediano plazo para el estudio del resto de las zonas que conforman San Luis Potosí y el resto del país.

Como ya se mencionó, este trabajo de investigación resulta, además de la importancia del conocimiento del comportamiento climático para lograr un mejor desarrollo agropecuario de la región, de la falta de estudios al respecto de los fenómenos de sequía.

Algunos modelos de cambio climático aplicados a la Huasteca arrojan resultados considerables. Maderey y Jiménez utilizaron el Modelo Termodinámico del Clima (Ádem, 1982) para predecir el cambio que habría en la Cuenca del Río Pánuco, en donde se encuentra comprendida la Huasteca. El modelo arrojó incrementos de 3°C en temperatura y disminución de la precipitación de 200 mm para el período de 2025-2050 (Maderey y Jiménez, 2001:49).

En 1988 se realiza un estudio de las anomalías de precipitación de la República Mexicana para el período 1923-1980, donde se utiliza la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta en el cual se obtienen gráficas y cartas de anomalía de precipitación que ofrecen el porcentaje de exceso de lluvia o déficit de lluvia para cada año con respecto a la moda calculada (García y Hernández, 1988).

Otro estudio, ahora si enfocado a la sequía particularmente, se realizó en el año 2000 y trata del estudio a nivel país de la sequía meteorológica utilizando escenarios climáticos futuros según el modelo CCC (Canadian Climate Center) y el modelo climático de circulación general GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory). Con estos escenarios se realizó el cálculo del Índice de Severidad a la Sequía (Hernández et al., 2000). Una vez más, se analizan las precipitaciones de manera general para todo el país.

Algunos de los trabajos realizados en nuestro país y de los cuales se tomaron algunas técnicas de estudio son el Monitor de la Sequía del estado de Chihuahua y por un grupo de investigadores del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

En el caso del monitor de la sequía de Chihuahua, desarrollaron un sistema que calcula el Índice Estandarizado de Precipitación, utilizando los registros meteorológicos en tiempo real, es decir, ingresan a la base de datos meteorológica los registros del mes anterior y obtienen de esta manera un índice de sequía actualizado que traducen en cartografía. Los productos cartográficos pueden ser consultados vía Internet.

Por su parte, el equipo de investigación de la Universidad Autónoma Chapingo ha estado desarrollando escenarios climáticos basados en el tipo de clima. Estos resultados los han sido la base para la elaboración de planes de ordenamiento ecológico territorial.

Como ya se mencionó renglones atrás, el Monitor de la Sequía de Norte América es un programa para utilizar la información meteorológica de Canadá, Estados Unidos de América y México para realizar cartas de sequía mensuales en tiempo real.

1.1.4. Métodos de estudio empleados en la climatología

Como queda de manifiesto en la definición del concepto de climatología, ésta ciencia necesita de una gran variedad de datos. Para su correcto análisis, la información extraída de la meteorología exige, entre otros, del conocimiento de física atmosférica y estadística. Además, para relacionar el historial de fenómenos atmosféricos, es decir el clima, con el entorno físico, es necesario contar con el conocimiento de vegetación, orografía y suelos del lugar a estudiar. La ocurrencia de las características climáticas de manera regular en un lapso de tiempo extendido, moldean el tipo de vegetación y suelo. No hay que olvidar que el clima

cambia de manera natural a través de períodos de tiempo aún más largos. La documentación más reciente acerca del cambio climático cuenta ya con factores antropocéntricos y será estudiado más adelante.

Aristóteles escribió *Meteorologica* en el año 350 a.C. intentando estudiar la lluvia, temperatura, granizo, nubes, etc, desde una perspectiva filosófica y un tanto especulativa debido a la falta de instrumentos de medición. Pero no fue hasta 1593, año en que Galileo Galilei inventó el termoscopio, antecesor del termómetro, que nace la ciencia de la meteorología, dejando de ser especulativa. A través de los años, los científicos fueron inventando diferentes instrumentos para medir los fenómenos atmosféricos. Evangelista Torricelli, estudiante de Galileo, descubrió el principio del barómetro en 1643 y construyó el primer barómetro de mercurio, para que años más tarde Blaise Pascal y René Descartes demostraran que la presión atmosférica disminuye a mayor altitud. Desde entonces, una infinidad de científicos desarrollaron los instrumentos meteorológicos que hoy conocemos, con los cuales se han conformado bases de datos mundiales meteorológicas.

Tomaría un par de siglos el desarrollo de los instrumentos de medición atmosféricos y la acumulación de mediciones suficientes antes de comenzar a crear modelos regionales de clima. El primer intento registrado de caracterización regional de climas lo realizó el naturalista Alexander von Humboldt, quien realizó un tratado de temperatura derivado de sus viajes alrededor del mundo entre 1796 y 1804, publicando en 1817 un mapa de isotermas medias anuales del hemisferio norte (Barry y Chorley, 2003:3). Este y otros productos cartográficos con información de precipitación y temperatura, entre otros, fueron creados durante el siglo XIX hasta que otro alemán, Wladimir Köppen, desarrolló desde 1884, una clasificación climática que se basa en la temperatura y precipitación del lugar estudiado, y no fue hasta 1936 que se publicó la versión final.

En México, la clasificación de Köppen se utilizó con discreción debido a que se basa en la fisonomía de los grupos de plantas superiores. No fue, si no hasta 1964 que Enriqueta García desarrollara las modificaciones necesarias para su utilización en nuestro país (García, 1986:66). Siguiendo al trabajo final de Köppen,

Thornthwaite crea en 1948 una clasificación climática basada en la evapotranspiración potencial y precipitación. La debilidad de este sistema de clasificación es que la evapotranspiración potencial es calculada a partir de la temperatura y de la radiación incidente, mediante fórmulas empíricas. La radiación incidente es calculada también, de no contarse con un pirheliómetro, a partir de fórmulas con constantes empíricas. Por tanto, existen más de diez fórmulas diferentes para el cálculo de la evapotranspiración potencial y varias otras para calcular la radiación incidente.

Otra posibilidad es utilizar imágenes de satélite para obtener la evapotranspiración potencial, pero las imágenes disponibles no cubren el total de años con registros meteorológicos y el cálculo tendría que ser más reciente. Esto quiere decir que aunque Thornthwaite se preocupó por incluir la interacción de la humedad con la vegetación en la clasificación de climas, la clasificación de Köppen es más práctica y por esto el sistema modificado por García ha sido mejor aceptado en México y es utilizado en este estudio. Podríamos decir que esta clasificación alcanzó reconocimiento oficial cuando la Comisión de Estudios del Territorio Nacional de la Secretaría de la Presidencia, encomendó al Instituto de Geografía de la UNAM la elaboración de las Cartas de Climas de la República Mexicana a escala 1:500,000. Éstas se publicaron en 1970 junto con las de escala 1:1,000,000, elaboradas por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional, precursora del INEGI.

Además de las disciplinas mejor conocidas de las ciencias naturales como la geografía, biología, ingeniería, están otras ramas científicas y herramientas que han aportado resultados muy importantes que contribuyen al estudio de la climatología. La paleoclimatología estudia el clima en la escala geológica y utiliza fósiles, indicadores litológicos, relieves en suelos antiguos, entre otros. La palinología, disciplina de la botánica, estudia el polen que puede arrojar datos importantes de tiempos pasados. La fenología por su parte, estudia la relación del clima con los seres vivos, por ejemplo, la migración de una especie con respecto a la época del año en que lo hace. La climatología también se sirve de la glaciología,

rama de la geografía, para encontrar por ejemplo datos sobre dióxido de carbono guardado en las burbujas de un glaciar. Un método científico que arroja información sobre las condiciones de humedad del ambiente es la dendrocronología, donde un anillo ancho de la corteza de un árbol representa un año con buena humedad y un anillo delgado indica un año seco. Mediante estas disciplinas y herramientas se han logrado reconstruir datos sobre temperatura, precipitación y concentración de dióxido de carbono, entre otros, que han sucedido desde hace centenas o miles de años atrás.

La medición de los fenómenos atmosféricos no se ha limitado solamente a las estaciones meteorológicas en tierra. Primero, los instrumentos de medición se elevaron por los aires gracias al globo de aire caliente o gas. Fue el 1 de diciembre de 1783 el día en que el francés Jacques Alexandre Charles – famoso por la *Ley de Charles*, una de las leyes básicas de los gases – instaló un termómetro y un barómetro sobre su más reciente invención, el globo elevado por hidrógeno, y logró un perfil de medición de 549 m. Este globo tripulado fue reemplazado por la radiosonda o globo meteorológico, que se pudo concretar hasta 1930, cuando el ruso Pavel Molchanov logró transmitir de manera automática y a través de ondas de radio, la información registrada por aparatos de medición ligeros y pequeños. Desde entonces el cielo ha sido invadido por un ejército de radiosondas que miden diversos parámetros meteorológicos, desde los básicos, temperatura y presión, hasta concentraciones de ozono. En la actualidad, éstas se lanzan desde más de 800 estaciones meteorológicas alrededor de la Tierra y la mayoría llegan a tomar mediciones hasta alrededor de los 30 km de altitud, es decir, cuando la presión atmosférica se ha reducido demasiado, expandiendo el gas lo suficiente para reventar el globo que lo contiene.

El sucesor obligado del globo fue el avión. Con este, se rompía una vez más el límite de altura, pero más importante, el límite de inmovilidad de las estaciones en tierra o del perfil atmosférico casi vertical de las radiosondas. Con el avión, se comenzaron a registrar fenómenos meteorológicos a lo largo de grandes extensiones de terreno y a diferentes altitudes.

Mientras tanto, otros investigadores experimentaban con luz. Con la luz de un reflector dirigido al cielo y un receptor que captaba la luz reflejada en las diminutas partículas que flotan en la atmósfera, Elterman logró medir la densidad de la atmósfera en 1954 (Elterman, 1954). Por estas mismas fechas se experimenta con el principio de la *emisión estimulada*, que Einstein había propuesto desde 1917, y se logra crear en 1960 el primer rayo *láser*. Con esta nueva herramienta óptica, en 1966 Schotland logra hacer la medición de un perfil altitudinal de la cantidad de vapor de agua a través de la atmósfera. La luz coherente, monocromática y colimada, mejor conocida como *láser* (del inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) dio como resultado la invención del *lidar* (*Light Detection And Ranging*), que Schotland llamó *radar óptico* (Schotland, 1966). Ahora es posible encontrar *lidars* en estaciones fijas y móviles en tierra, aviones y satélites. Además, estos *lidars* miden diversos elementos atmosféricos con los que se calculan temperatura y humedad relativa, entre otros.

Como se ha visto, la meteorología y los conocimientos de la atmósfera y estadística, así como las diversas disciplinas de las ciencias naturales, conforman la disciplina de la climatología. Podemos resumir que la climatología ofrece un entendimiento entre atmósfera y naturaleza. El siguiente paso en un estudio climatológico es la relación de dichos factores naturales con el ser humano. Es decir, las posibilidades que el medio ofrece para el desarrollo de las actividades sociales y económicas de cualquier grupo humano. Este entendimiento establece los límites y condiciones naturales para la explotación de los recursos.

1.2. Conceptos para el manejo de la sequía

Los fenómenos extremos derivados del cambio y variación climática han trascendido en las instancias internacionales, derivando en un aumento de la actividad científica en el tema. La mayoría de los estudios de los fenómenos y

efectos de los eventos extremos del clima se han realizado en los países industrializados.

Primero es necesario establecer el marco teórico para entender el fenómeno de la sequía y los conceptos que sirven para medirla en términos de su impacto como desastre, riesgo, peligro, amenaza, vulnerabilidad y capacidad de recuperación. Estos términos han sido motivo de estudio desde diferentes puntos de vista, lo cual produce, a veces, contradicciones en su medida y manejo. La complejidad del problema tiene que ser desmenuzada desde disciplinas como la geografía, ingeniería, economía, planeación, sin dejar de lado la sociología, psicología, antropología y arqueología. Existen algunos textos realizados desde las perspectivas de las disciplinas mencionadas y que desarrollan el tema de los desastres. Estos textos servirán para crear una estructura teórica y proponer los elementos que serán utilizados en esta tesis.

Este proyecto de investigación pretende estudiar el impacto que el fenómeno de la sequía ejerce sobre la región, buscando, al mismo tiempo, establecer las medidas para sortear dichos límites.

El evento meteorológico de la sequía trae como consecuencia impactos negativos en la vida diaria de las comunidades. En eventos de sequía, los efectos dependen de la intensidad o severidad con que ésta se presente. En estos eventos, el abastecimiento de agua potable para uso humano se ve disminuido y las actividades agropecuarias se ven amenazadas al punto de poner en riesgo la producción.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha realizado esfuerzos para reforzar los sistemas y servicios meteorológicos de los países miembros de la Organización a través de la National Meteorological and Hydrological Services (NMHS en español Servicios de Meteorología e Hidrología Nacional). Este servicio, aunado con el Public Weather Services Program (PWSP en español Programa de Servicios Públicos del Clima), se avocan a la seguridad y bien públicos, mediante advertencias y pronósticos.

En nuestro continente se formó una red de monitoreo de la sequía entre Estados Unidos, Canadá y México, llamada Monitor de la Sequía de Norte América. Esta fue el resultado de un taller de trabajo para el estudio del clima extremo en 2002. Este monitor está basado en el Monitor de la Sequía que Estados Unidos implementó en 1999. El Servicio Meteorológico Nacional es la entidad que participa en este proyecto aportando las mediciones de la red de estaciones meteorológicas de nuestro país y la experiencia que se tiene para la medición de la sequía.

1.2.1. Desastre, amenaza, peligro, vulnerabilidad y riesgo

“...los desastres amenazan el apuntalamiento tecnocrático del estado liberal o socialista moderno”.
(Hewitt, 1996:13)

El desastre puede describirse como *“el producto de la combinación, interrelación y conjunción de una serie de piezas que se construyen a partir de procesos sociales”* (Mansilla, 1996: 6). Esta definición de Elisabeth Mansilla, del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, nos deja ver la complejidad del estudio de los desastres debido al análisis de los diferentes procesos sociales de una comunidad y la manera que estas actividades se conectan e interactúan.

Los desastres se han abordado desde una visión tecnocrática, privilegiando las soluciones tecnológicas, ingenieriles. Dice Hewitt que este *approach* del imperialismo eurocéntrico ha trivializado las preocupaciones de las comunidades y que, además, éste ha incrementado sus riesgos (Hewitt, 1996:15). Aunado a esto, algunas de las herramientas tecnológicas desarrolladas para disminuir el peligro de un desastre pueden, indirectamente, añadir *“complejidad a viejas amenazas”* (Quarantelli, 1996:35). Por ejemplo, la invasión de una plaga en un cultivo se reduce con la aplicación de pesticidas, que en la mayoría de los casos deriva en

problemas de contaminación por elementos tóxicos, que afectan suelo, a la misma planta y a la salud humana. Se le llama a esto “*daño colateral*”.

Lo que queda claro, es que no toda la ciencia tecnológica produce el efecto contrario para la cual fue creada, más bien, existen componentes de ignorancia en la aplicación de ciertas tecnologías, aunque en la mayoría de los casos lo que existe es una serie de factores políticos y económicos que derivan en el mal uso de ciertas herramientas tecnológicas que terminan dañando más que solucionando. Esto significa que la tecnología *per se* no es la que ocasiona el daño, si no el uso quizá equivocado de las herramientas y la falta, ahora si, del uso de herramientas sociales junto a las tecnológicas.

¿Porqué son importantes las herramientas sociales? El análisis de los desastres siempre tiene como fin la elaboración de políticas públicas para reducir los impactos que puedan ocasionar. La ignorancia o uso equivocado de la tecnología en las acciones durante un desastre desde la visión positivista, como se ha dicho, deja “*condiciones ocultas*” o violenta su realidad más humana (Watts, 1983; Hewitt, 1996:15; Hartman y Boyce, 1988). Sin duda, la búsqueda de leyes universales, mediante la adquisición objetiva de conocimiento, por lo menos desde un punto de vista externo del fenómeno, sería uno de los dos pasos a seguir, y la interpretación mediante el estudio de las causas internas, el otro. La hermenéutica habla de la intencionalidad y de la creación de significado, es decir, de comprender un fenómeno desde su raíz, desde su causa de aparición. El desastre surge por infinidad de razones: grandes extensiones de cultivo en zonas proclives a la sequía, en el caso que nos atañe o construcción de zonas habitacionales en zonas con peligro de deslave, por añadir otro entre muchos ejemplos. Por otro lado, el constructivismo decide que el conocimiento se va construyendo, pero dentro de cada sujeto cognoscente, es decir, no es pasivo.

Con todo esto, volvemos a la definición de Elisabeth Mansilla, estando de acuerdo que los procesos sociales y su interrelación son los que definen al desastre, los cuales deberán ser insertados en las metodologías científicas o soluciones tecnológicas. En síntesis, el entendimiento del desastre desde su fase

interna no sirve de nada si no existen las herramientas técnicas para medir sus efectos externos. El resultado de este nexo es una serie de herramientas tecnológicas que ayudan a minimizar los efectos externos, aplicadas éstas, con la lógica interna del fenómeno.

Ahora, después de desmenuzar al desastre desde su análisis filosófico, deben definirse los términos necesarios para su conceptualización. La amenaza, el primero de ellos, se puede comprender como un evento que puede suceder pero que no ha sucedido antes, es decir, existen “*las condiciones o procesos que tienden a iniciar episodios de daños excepcionales*” (Hewitt, 1996:18). Si analizamos la amenaza desde la estadística probabilística frecuencial, ésta no puede ser considerada un riesgo hasta que suceda por lo menos una vez. Por otro lado, la probabilística bayesiana, que toma en cuenta que la evidencia acumulada altera el grado de creencia en una hipótesis dada, hace creíbles en cierto grado las amenazas. Cuando el huracán Katrina se presentó, se tenían informes de la amenaza que representaba un evento de lluvia extremo en Nueva Orleans, EEUU, pero no fueron tomadas las medidas necesarias para evitar el desastre. La etiqueta de amenaza disuadió a autoridades a no elaborar escenarios futuros de probabilidad ni medidas de prevención y mitigación.

El segundo término es el peligro, el cual puede representar solamente una amenaza. El peligro se define como la característica intrínseca de una situación física (evento natural), una sustancia o un material que pueden causar daños a la población, al ambiente natural o a otros materiales y objetos. Al peligro se le atribuyen dos fuentes: naturaleza o actividades humanas (Wilches-Chaux, 1993:19). Primero, los peligros naturales como la erupción de un volcán, son fácilmente atribuibles a un proceso de transformación natural. Se puede pensar también en peligros naturales como huracanes o sequías. Pero, si la deforestación, actividad humana, provoca que la sequía se recrudezca, entonces se convierte en un peligro combinado, de origen natural con características o matices provocados por los humanos. Un peligro humano sería la contaminación producto de un proceso industrial, donde el humano, deliberadamente combina

materiales y procesos que producen elementos tóxicos que no hubieran sido creados naturalmente.

La vulnerabilidad es un término utilizado por diversas disciplinas y su definición se adapta de acuerdo a los fines en que sea utilizado. Se puede hablar de economías vulnerables, estructuras vulnerables de una construcción o de sectores sociales vulnerables, entre otras. La vulnerabilidad también encuentra correlaciones con los diferentes sectores o tipos de vulnerabilidad. En un evento meteorológico extremo, por ejemplo un huracán, existe el riesgo de pérdidas materiales ocasionadas por la vulnerabilidad de las construcciones a los fuertes vientos. La economía puede ser vulnerable, debido al daño o pérdida de dicha infraestructura, los gastos que ocasionan su reparación y la pérdida de productividad. Durante el mismo huracán, la vulnerabilidad social deriva de las demás afectaciones. Si los edificios son vulnerables a la fuerza del viento, la población será vulnerable a lesiones e incluso a la muerte. Handmer y Wisner (1999) definen la vulnerabilidad social como la probabilidad de que un grupo social definido sufra lesiones, pérdidas, muerte o cambio brusco en su estilo de vida durante un evento extraordinario de la naturaleza o que dicho grupo tenga grandes dificultades para recuperarse del mismo. Esta probabilidad de lesiones o daño está dada por las *“condiciones y el estado de una comunidad, las cuales aumentarán o disminuirán la probabilidad y severidad de los daños en una situación de stress dada”* (Hewitt, 1996:18). De estas definiciones se deriva la evolución de la vulnerabilidad. Tanto los cambios climáticos, como los cambios en las condiciones económicas y políticas de una comunidad, hacen que la vulnerabilidad cambie, éstos son la situación de stress (Liverman, 1996:85; Maskrey, 1993:9).

No se debe olvidar la vulnerabilidad acumulada (Mansilla, 1996:9; Maskrey, 1996:8). Los cambios en el medio, ya sean naturales o socio-económicos, propician que vulnerabilidades conocidas se ajusten, además de crear nuevas vulnerabilidades. El proceso aditivo de vulnerabilidades se da cuando una comunidad no cuenta con los medios y recursos para disminuir las viejas

vulnerabilidades y sus condiciones sociales menguadas propician nuevas vulnerabilidades. La vulnerabilidad habla entonces de la “*flexibilidad*” o capacidad de “*absorción*” de la ocurrencia del riesgo (Wilches-Chaux, 1993:17). Más flexible será esa comunidad preparada para lidiar con los riesgo, es decir, menos vulnerable.

Por lo anterior, la vulnerabilidad del sector agropecuario a la sequía se define como la probabilidad del sector a sufrir daños derivados de éste fenómeno. Estos daños se reflejan en la disminución de la producción, pérdida de la calidad del producto o pérdida total. La vulnerabilidad de la agricultura y ganadería está dada por el comportamiento que cada uno de los productos del sector tenga ante el déficit o exceso de agua. La vulnerabilidad también depende del conocimiento, capacidad técnica y económica de los productores.

Handmer y Wisner hablan de la importancia de la capacidad para reponerse. Esta resulta del instinto de la sociedad por protegerse a si mismos y a los demás. La capacidad de reponerse incluye a los cultivos y animales, que cuentan con mayores o menores defensas y métodos naturales de recuperación ante estos eventos.

Existen diferentes opiniones con respecto a qué sociedades son más vulnerables a los eventos extremos de clima. Magaña y Gay (2001) hablan de la mayor vulnerabilidad de los países en desarrollo debido a los menores recursos disponibles para adaptarse, resistir y reponerse. Su sentencia se basa en la cantidad de recursos que los países desarrollados cuentan, lo cual hace eficiente la prevención, respuesta y mitigación de los impactos. Por el contrario, se habla de las fallidas evaluaciones y manejo de riesgos derivadas de la experiencia del Huracán Katrina en Nueva Orleans, EU (Schroll, 2005), que cuestionan la aseveración de Magaña y Gay.

El estudio de vulnerabilidad de México al cambio climático del INE dice que la vulnerabilidad de un país está dada por tres factores: 1) la difusión y comprensión de los pronósticos climáticos, 2) la capacidad técnica para aplicar medidas preventivas, y 3) la disponibilidad de recursos financieros para aplicar esas

medidas (Magaña y Gay, 2001). En un reporte de la Fopreden (2005) se definen dos términos: amenaza o peligro como la “*probabilidad de que ocurra un evento en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños*”; y la vulnerabilidad como la “*probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños a la economía, la vida humana y al ambiente*”. Estos dos conceptos nos definen el riesgo, es decir, el riesgo es la “probabilidad combinada entre amenaza o peligro y vulnerabilidad”.

El riesgo puede ser utilizado como sinónimo de probabilidad, pero para que su significado sea completo, la UNESCO propuso una fórmula que incluye las víctimas y/o pérdidas económicas derivadas de un desastre (Lugo e Inbar., 2002:13):

$$\text{Fórmula 1.1} \quad R = P \times V \times E$$

, donde R= riesgo; P= peligro; V=vulnerabilidad; y E= elementos afectados, víctimas o pérdida económica.

A continuación se numeran los tres pasos que el Centro Nacional para la Prevención de los Desastres (CENAPRED, 2004:9) propone para atacar los riesgos:

1. Conocer los peligros y amenazas para saber dónde, cuándo y cómo nos afectan.
2. Identificar y establecer en el ámbito nacional, estatal, municipal y comunitario, las características y los niveles actuales de riesgo ante esos fenómenos.
3. Diseñar acciones y programas para mitigar y reducir oportunamente estos riesgos a través del reforzamiento y adecuación de la infraestructura, mejorando normas y procurando su aplicación, así como preparar e informar a la población la manera de actuar antes, durante y después de una contingencia.

Es importante hacer notar cómo el CENAPRED toma en cuenta las amenazas y les otorga una probabilidad de ocurrencia, además de la importancia de los análisis a nivel de municipio y comunidad.

Ahora, utilizando el riesgo y la vulnerabilidad, obtenemos una fórmula ofrecida por Wilches-Chaux para calcular el desastre (Wilches-Chaux, 1993:18):

$$\text{Fórmula 1.2} \quad \text{Riesgo} \times \text{Vulnerabilidad} = \text{Desastre}$$

Como se ha visto, vulnerabilidad y riesgo van de la mano. Es necesaria la coincidencia espacio-temporal de un evento peligroso y de una comunidad vulnerable, para que el riesgo exista. Si la comunidad es muy vulnerable, entonces, el desastre puede ocurrir.

La vulnerabilidad en este trabajo toma en cuenta los factores físicos del tiempo (comportamiento meteorológico), los factores de respuesta del sector agrícola y pecuario y los factores socioeconómicos con respecto a la oferta y demanda de los productos y las pérdidas económicas resultantes de estos fenómenos.

1.2.2. Mitigación, prevención, recuperación y adaptación

Aunque la intuición nos da una idea de la connotación de estos cuatro términos o tipos de acción, es importante establecer el alcance de éstos en interés de los objetivos de este trabajo de investigación.

Primero se profundiza en la prevención, recuperación y adaptación para terminar con una definición holística de mitigación. Para esto, se darán las definiciones básicas de la Real Academia Española (RAE) y un pequeño análisis, para posteriormente acudir a los significados y alcances que dan a estos términos los principales organismos y grupos de investigación dedicados al tema de los desastres. Estos términos conforman el sistema de manejo de los desastres.

La prevención es una palabra de fácil comprensión y la RAE define prevenir como la *“preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar un riesgo o ejecutar algo”*. Evitar un riesgo es, en términos prácticos, el objetivo final de los resultados de esta tesis. Todos los análisis realizados en este estudio tienen como propósito crear las herramientas necesarias para evitar los riesgos que la sequía conlleva.

Siguiendo con la primera fase de análisis conceptual básico, la RAE define recuperar como *“volver a un estado de normalidad después de haber pasado por una situación difícil”* y *“volver a poner en servicio lo que ya estaba inservible”*. Como ya se ha dicho, la sequía afecta las actividades sociales y económicas de una comunidad. Es decir, no sólo altera su funcionamiento, el cual puede quizá volver a su normalidad después de ocurrido el evento, si no que puede dejar inservibles los medios para desarrollar dichas actividades. Por ejemplo, la baja o nula humedad de un suelo y el cultivo destruido que tendrán que esperar a una nueva siembra y a recuperar la humedad perdida durante la sequía.

El tercer término, la adaptación, es un concepto que actualmente está tomando fuerza. Parece para algunos que la adaptación es la renuncia a salvar al planeta como lo conocimos en tiempos pasados, antes de la deforestación cuando la sequía no aparecía con la intensidad y frecuencia registradas en los últimos años. Significa, para este grupo, el darse por vencidos y simplemente cambiar nuestras actividades para adaptarnos, en este caso, a entornos más calientes y secos, comenzar a cultivar especies que resistan estas nuevas condiciones. Para otros, es la oportunidad de reevaluar las actividades que se han venido realizando y evolucionar a sistemas más modernos, más *ad hoc* a las necesidades actuales de la sociedad. Por esto, en este trabajo de investigación se acepta que los cambios de procesos productivos están presentes a lo largo de la historia, incluso por razones ambientales. Se toma la postura de aceptar que la inamovilidad de nuestras actividades significa negar la evolución propia de cualquier sistema, a su vez que toda acción novedosa debe estar planteada desde la idea de la protección al ambiente.

Este manejo de los desastres es, otra vez desde la visión positivista, “*el control de daños a favor del sistema existente y el retorno a la ‘normalidad’*”, donde claro, los desastres son “*aberraciones dentro del orden social*” (Hewitt, 1996:12). Con esto, dice Hewitt, se han estudiado los desastres como algo ajeno a lo cotidiano. Volvemos al problema de lo externo y lo interno; del manejo *externo* del desastre mediante la tecnología, a partir de su medición a través de aparatos y el cálculo de sus consecuencias; y, como su complemento, la comprensión desde *adentro*, la explicación de los daños en términos geográficos, de infraestructura y del conocimiento y organización de las comunidades.

Ahora, pasamos a la mitigación. Mitigar significa “*Moderar, aplacar, disminuir o suavizar algo riguroso o áspero*” (RAE). En el estudio de los desastre, mitigar es el arte de reducir los impactos negativos que un desastre provoca en una comunidad y sus sistemas.

Es importante retomar una vez más el discurso de lo *social* en el diseño de las medidas de mitigación. Como ya se estudió renglones atrás, la vulnerabilidad al desastre es una consecuencia social y por esto, la mitigación debería ser más una acción desde abajo, desde la comunidad, que desde arriba, desde el gobierno (Romero y Maskrey, 1993:10). Este razonamiento hace necesaria la capacitación y el trabajo constante con las comunidades interesadas. Los razonamientos de la visión desde abajo, desde la gente de la comunidad en cuestión, están sustentados como lo hemos visto. Sin embargo, no hay que olvidar que los recursos no son manejados directamente por la comunidad. Aunque ésta participe activamente en la preparación de los planes de manejo del desastre, será el gobierno el encargado de la puesta en marcha de dichos planes, aplicación de recursos y debería también evaluar los resultados, actividad que comúnmente ni comunidad ni gobierno realizan. Por esto, es necesario el puente tomadores de decisiones-comunidad a través de los académicos. Lavell cita la propuesta de Buckle para que la comunidad académica participe “*difundiendo más los resultados de sus investigaciones, estimulando al sector público...*” (Buckle, 1990:301, citado en Lavell, 1993:11).

Además de los términos en los que se ha profundizado, existen un número de “*momentos*” del manejo del desastre. Los más destacados son *preparación* (aunado a la prevención), *alerta* (al momento del desastre), *respuesta* (parte de la alerta según el plan de prevención), *rehabilitación y reconstrucción* (como el proceso de recuperación) y *desarrollo* (etapa de aprendizaje después del desastre para futuros eventos, forma parte de la adaptación).

En resumen, el manejo de los desastres, mediante las medidas de mitigación que incluyen todas las etapas mencionadas anteriormente, serán propuestas como Romero y Maskrey lo sugieren, desde abajo. Pero éstas incluirán las acciones desde arriba, del gobierno y las entidades competentes en materia de agricultura, meteorología y climatología.

1.2.3. El fenómeno de la sequía

La sequía es un fenómeno climático recurrente que se caracteriza por la disminución de la precipitación pluvial y que trae consecuencias negativas a los humanos, al ambiente y a las actividades económicas. Este fenómeno es considerado normal y sucede en la mayoría de las zonas climáticas (Contreras, 2005). Ésta se mide en varias escalas que corresponden a su caracterización y apreciación desde diferentes puntos de vista: por ejemplo, la sequía meteorológica se ha conceptualizado como el déficit de precipitación con respecto a la media de la región en estudio y se calcula con métodos estadísticos en base a los registros de precipitación. La sequía agrícola, es la que se refiere a la disminución de la producción agrícola; la sequía hidrológica sucede cuando los afluentes de ríos y niveles de cuerpos de aguas se ven reducidos; y la sequía socio-económica se produce cuando los efectos de la falta de lluvia repercuten en las actividades sociales y productivas de una comunidad.

La sequía es una anomalía temporal que varía de una región a otra. Por ejemplo, esta se determina cuando la estación de lluvias se retrasa o la intensidad

de precipitación es menor a la esperada. Las temperaturas altas, los fuertes vientos y la baja humedad relativa influyen en la gravedad de la sequía. Por estas razones, este fenómeno, asociado al cambio climático mundial, ha atraído el interés de investigadores y gobiernos.

Como ya se vio, la sequía es un evento que depende de las condiciones meteorológicas de una zona. Esta, puede presentarse en diferente magnitud y frecuencia, lo cual constituye uno de los problemas más difíciles con que la ciencia se ha topado. La predicción y medida de dicho evento es complicada y no se ha logrado una técnica que pueda estimarla con exactitud. Esta dificultad radica en la complejidad del sistema climático de nuestro Planeta.

La sequía es la reacción derivada de una serie de cambios en los fenómenos meteorológicos. Estos a su vez, son resultado de alteraciones en el patrón de la circulación general de la atmósfera que ha sido provocado por factores naturales y artificiales. Por esto, el estudio de la sequía debe estudiar el sistema climático global, regional y local.

Podríamos plantear a la sequía como un escenario de salida del sistema climático. La teoría de sistemas se basa en entradas, transformación o proceso y salidas, según la Teoría General de Sistemas de Bertalanffy. El sistema climático en el que se encuentran estos fenómenos es el ciclo hidrológico. Además, este ciclo recibe alteraciones o afectaciones de otros sistemas, como las actividades humanas o eventos naturales. De esta manera, los factores de entrada más importantes para obtener como salida la precipitación son la humedad, temperatura, el tipo de vegetación. Se deben conjugar estos tres factores para producir la evaporación, la cual constituye la entrada al sistema, el agua en este caso.

La segunda etapa es la transformación de esas entradas. El agua se encuentra en el sistema en forma de vapor y tiene que ocurrir un proceso de condensación para lograr que el vapor se convierta en líquido. El procesamiento de la entrada va relacionado con el transporte. La circulación de la atmósfera rige los patrones de

movimiento de los vientos, que son la banda transportadora de estas moléculas de agua.

El entorno envuelve al sistema y aporta recursos adicionales al sistema que generan variaciones en las salidas. El entorno del sistema climático son los eventos, cambios y variaciones naturales, así como la presión derivada de las actividades humanas. El fenómeno de El Niño o La Niña son eventos naturales que debido a un cambio en la temperatura media de los océanos alteran el sistema de circulación atmosférico y provoca alteraciones en los fenómenos meteorológicos. En el caso de las actividades humanas que más afectan al sistema climático son las que producen emisiones contaminantes a la atmósfera. Estos son algunos de los ejemplos más significativos del entorno que afecta, se relaciona e interactúa con el sistema climático. La salida de este sistema alterado puede ser la ausencia de precipitación o exceso de ésta, ambos casos se pueden convertir en desastres.

En esta propuesta metodológica ofrece la base técnica para el estudio sistematizado de la sequía meteorológica, la cual servirá para futuros estudios que abarquen la sequía hidrológica, agrícola y socio-económica.

1.3. Importancia de la Huasteca Potosina

“Si alguna vez se llega a conocer la flora huasteca, si la ciencia penetra algún día en aquel venturoso país, examinando y clasificando la multitud de plantas que allí existen, es muy creíble que la botánica, la farmacia y el arte culinario, encuentren allí recursos desconocidos ”.
(Cabrerera, 2002:45)

El estado de San Luis Potosí se divide comúnmente en cuatro regiones. Cada región está compuesta de municipios que comparten ciertas características naturales como el tipo de clima y la orografía.

La Huasteca Potosina es una región importante dentro del Territorio Nacional, por ser considerada como el límite boreal de las selvas altas perennifolias (Rzedowski, 1963). El bosque tropical lluvioso es de suma importancia debido a su biodiversidad (Vázquez-Yañes y Orozco-Segovia, 1992). Las comunidades vegetales que existen en estos bosques, a diferencia de los bosques templados, son muy abundantes y llegan a sumar unas 200 especies por hectárea cuadrada en el bosque tropical del Amazonas y hasta unas 100 especies diferentes en la misma área en México.

Vázquez-Yañes y Orozco-Segovia (1992) hablan del bosque alto perennifolio tropical lluvioso que llegaba hasta San Luis Potosí, desde la costa del Golfo de México y que, en la fecha de la publicación, sólo el 10% del bosque original aún existía en México. Esto coincide con Dirzo y Miranda (1991) quienes señalan que en San Luis Potosí se perdió todo el bosque tropical en veinte años.

Según estos estudios, podemos ver que desde que Rzedowski publicó sus investigaciones hasta veinte años después, el cambio en el tipo de vegetación de la Huasteca Potosina no es despreciable. Esto nos da una base importante para estudiar el clima en la zona y encontrar las relaciones entre el cambio de vegetación, la deforestación y los factores meteorológicos de precipitación y temperatura y las posibles relaciones que estos cambios ocurran asociados a fenómenos globales como El Niño y las manchas solares.

Existe en la región una alternancia de sequías e inundaciones producidas por los ciclones tropicales. La región se ubica geográficamente en las coordenadas extremas: 98° 20' longitud oeste y 22° 12' latitud norte en Ébano (extremo oriental), 99° 32' longitud oeste y 22° 12' latitud norte en Tamasopo (extremo occidental), 99° 32' longitud oeste y 22° 44' latitud norte en El Naranjo (extremo norte) y 98° 49' longitud oeste y 21° 10' latitud norte en Tamazunchale (extremo sur de la zona).

La Huasteca Potosina es una región tropical subhúmeda de 1'129,000 ha que cuenta con remanentes de selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, encinar tropical y palmar. También dentro de la zona, se localizan las áreas

protegidas de la Sierra del Abra-Tanchipa y de la Sierra Gorda-Río Moctezuma, lugares que conservan todavía el bosque espinoso, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical caducifolio y bosque de quercus, entre otros ecosistemas. Dentro de este contexto, la región de la Huasteca Potosina, tiene precipitaciones abundantes que varían ascendentemente de este a oeste, conforme se va incrementando la altitud sobre el nivel del mar. Las precipitaciones de 1,000 a 1,200 mm anuales ocurren en las partes más bajas, mientras que en las zonas altas de la Sierra Madre Oriental alcanzan cantidades superiores a los 3,000 mm anuales; registrándose en la mayor parte del área un rango de 1,200 a 2,000 mm anuales.

En términos generales, se puede decir que el territorio de la Huasteca Potosina, de acuerdo con la clasificación de Víctor Toledo (Toledo, 2004), presenta los siguientes climas: *tropical cálido húmedo*, con una precipitación anual acumulada de 1800 a 2000 mm y temperaturas promedio anual de 21°C; y *tropical cálido subhúmedo* en terrenos de transición entre regiones tropicales húmedas y áridas; con precipitaciones entre 600 y 1500 mm, temperaturas promedio superiores a los 20 °C, un período de sequía de cinco a nueve meses, lo que ocasiona que la vegetación esté constituida por selva de poca y mediana altura con gran diversidad biótica. Por otra parte, de acuerdo a la Carta Estatal de Climas de San Luis Potosí del INEGI, misma que utiliza el sistema de clasificación de climas de Köppen, modificado por García, escala 1: 700,000 del año 2002, la región de la Huasteca Potosina comprende cinco diferentes tipos de climas: *Awo* (cálido subhúmedo con lluvias de verano y precipitación invernal entre 5 y 10%, dentro de los subtipos de menor humedad) en la zona de Tamuín, Ébano, Pujal-Coy y Nuevo Tampáon; *Aw1*, cálido subhúmedo con lluvias de verano y precipitación invernal entre 5 y 10%, dentro de los subtipos de humedad media, en la zona de Sierra Cucharas-Ciudad Valles-San Vicente Tancuayalab; *Aw2*, cálido subhúmedo con lluvias de verano y precipitación invernal entre 5 y 10%, dentro de los subtipos de mayor humedad; *(A)C(m)(w)*, tipo semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano en la región de Tamasopo-Aquismón-Tamazunchale; y en la parte más alta

de las sierras de Xilitla y Tamazunchale se presenta un clima *(A)C(fm)*, semicálido húmedo con lluvias todo el año. En resumen se puede decir que ocurren precipitaciones de 1,000 a 1,200 mm anuales en las partes más bajas, y en las zonas altas de la Sierra Madre Oriental alcanzan cantidades superiores a los 3,000 mm anuales; registrándose en la mayor parte del área un rango de 1,200 a 2,000 mm anuales.

La estructura edafológica de la Huasteca Potosina está conformada principalmente por vertisoles en la zona noreste y pequeñas áreas en la parte norte de la Sierra Madre Oriental y al sureste de la región, sumando un total de 374,390 ha; rendzinas con un área total de 339,474 ha que cruzan la región de norte a sur justo por la mitad y en pequeñas áreas diseminadas en Tamasopo y El Naranjo; suelo del tipo litosol con una distribución también norte-sur en el extremo poniente de la región, coincidente con la Sierra Madre Oriental y atravesando Ciudad Valles en la Sierra del Abra-Tanchipa con un total de 316,113 ha; en cuarto lugar se encuentra el regosol con sólo 44,471 ha que se forma en las depresiones entre las dos sierras mencionadas; por último se encuentran diversos tipos de suelo que ocupan superficies menores como feozem, cambisol, fluvisol, castañozem, gleysol y chernozem, en orden descendente de cobertura.

En esta zona se encuentra el área protegida de Sierra del Abra-Tanchipa y la Sierra Gorda-Río Moctezuma, caracterizadas por la presencia de bosque espinoso, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical caducifolio y bosque de quercus y varios más.

La zona de la Huasteca Potosina es propicia para el cultivo de caña de azúcar, café, plátano, litchi, maracuyá, oleaginosas y cultivos forrajeros. También se practica la cría y engorda extensiva, semi-intensiva e intensiva de bovinos y de otras especies (CIESAS, 2004). Sin embargo, los rendimientos potenciales y los beneficios sociales y económicos que se esperarían de estas actividades han sido limitados en gran medida por el deterioro ambiental provocado por la deforestación, el deterioro de suelos, la contaminación de cuerpos de agua y el efecto de siniestros naturales, que se traduce en pérdidas parciales o totales,

ocasionados por la sequía, inundaciones o por el brote de plagas y enfermedades especialmente virulentas durante la canícula. Ávila habla de los problemas del agotamiento de un sistema natural agrario en la Huasteca, caracterizando a la región como de “*alta siniestralidad agropecuaria, por efecto de sequías, heladas, inundaciones o ciclones*”. Ávila contaba hasta el año de publicación de su estudio, un total de 101 ciclones que la Huasteca había resistido (Ávila, 1996).

Como resultado del profundo impacto ambiental generado por las actividades agropecuarias y en especial por la ganadería extensiva-, la Huasteca Potosina ha sido caracterizada como una zona de alta vulnerabilidad a la sequía. Esto ha sido manifiesto incluso en los medios de comunicación donde se hacen notar los desastres ganaderos, las intensas sequías e incendios forestales:

“Gobierno del Estado está en vías de solicitar a la Federación que declare a San Luis zona de emergencia, por los efectos que provoca la sequía. En cuando menos 20 municipios resienten ya impactos mayores por falta de agua...” (Pulso, 27 de abril de 2005).

Los documentos que muestran el deterioro que esta región ha sufrido en este último siglo, y los recursos con que aún cuenta, justifican la realización de diversos estudios para lograr orientar las políticas de administración pública y los objetivos de desarrollo económico hacia un desarrollo sustentable que perdure.

2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DEL FENÓMENO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA

El presente estudio propone la utilización de diferentes métodos de medición y análisis de la climatología para la zona de estudio, permitiendo la validación de los resultados. La metodología consiste en el análisis de:

A) Mediante el uso del software *CalculoClimatico* (elaboración propia)

1. Obtención de información meteorológica del área de estudio
2. Clasificación climática de Köppen modificada por García
3. Cálculo del índice de severidad de la sequía
4. Cálculo de la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta
5. Correlación El Niño – Sequía

B) Segunda parte

1. Análisis cruzado del índice de severidad de la sequía con el cambio de uso de suelo. Mediante sistemas de información geográfica
2. Propuesta general de manejo de la sequía para futura inclusión de la dimensión social

Además de las técnicas utilizadas en este estudio para la medida de la sequía, existen otras tantas que analizan también el fenómeno a partir de registros atmosféricos, las cuales no fueron utilizadas debido a la falta de datos disponibles para la región.

La propuesta consiste en la utilización de las técnicas antes mencionadas de manera que una complementa a la otra, además del análisis por períodos históricos que demuestren como se ha desarrollado el fenómeno de la sequía. Por otra parte, debido a que el INEGI no ha levantado cartas de uso del suelo, se utilizaron para el presente estudio las cartas de clasificación de uso de suelo que se hicieron como parte del proyecto SAGARPA-2004-C01-186/A-1 (SAGARPA, 2004), para los años 1973, 1985 y 2000. También es importante mencionar que en

lo que concierne a las estaciones meteorológicas utilizadas para la investigación, estas en su gran mayoría empezaron a funcionar después del año de 1961. Con la finalidad de correlacionar la información climatológica con las cartas de uso de suelo, se establecieron los períodos de: 1961-1973, 1973-1985 y 1985-2000. Como se puede ver, el primer período abarca hasta el año 1973, ya que es la fecha de la primera clasificación de uso de suelo elaborada a partir de una imagen de satélite. Consecutivamente, el período se va recorriendo según el año de la carta de uso de suelo, hasta el 2000, año de la última clasificación utilizada. El objetivo de este análisis es saber qué tipo de comportamiento meteorológico de acuerdo al cambio de uso de suelo que se llevó a cabo en la región, con la finalidad de conocer la variabilidad y los posibles cambios en los patrones climatológicos de la zona y poder tener un panorama general del historial climático 1961-2000.

Además, el número de estaciones que se pudieron utilizar es distinto en cada análisis. Las exigencias sobre el número de años mínimo con registros meteorológicos que una estación debe contar para tomarse en cuenta en un análisis climático ha ido cambiando con el tiempo, esto responde a que con el curso de los años se tienen acumulados más registros. Enriqueta García decía que se debían utilizar estaciones con 20 años o más de registros, y que sólo en casos excepcionales se podrían utilizar 10 años o más, esto depende de la antigüedad de las estaciones disponibles y del número de estaciones dentro la zona de estudio (García, 1986:64). A estos períodos cortos se les llama medias del período, de por lo menos 10 años de registros (Trewin, 2007). Para los períodos cortos propuestos, se utilizaron estaciones con 10 o más años con el fin de poder lograr utilizar la mitad o más de estaciones disponibles. Y para el período completo de 1961-2000 se pudo analizar con estaciones que cuentan con 25 o más años con registros.

El total de estaciones seleccionadas para el estudio asciende a 124. En el período 1961-1973 se obtuvieron 51 estaciones con 10 o más años de registros meteorológicos, para 1973-1985 se contó con 89 estaciones, para el período

1985-2000 se tuvieron 81, y por último, el período total 1961-2000 se analizó con 75 estaciones.

Debido a que las necesidades de cálculo meteorológico y de los diversos métodos antes mencionados son muy laboriosos, se creó para este proyecto el programa *CalculoClimatico* (Algara-Siller, 2008) en lenguaje *Matlab* (2002). Este programa es el eje principal de una serie de subprogramas que realizan la lectura automática de los registros meteorológicos en dos de los formatos originales utilizado por el SMN, la homologación de dichas bases de datos en matrices .mat, el cálculo básico de los parámetros meteorológicos, y obtienen los valores de la moda ajustada a la función *gamma* incompleta, el índice de severidad de la sequía y la clasificación climática de Köppen modificada por García.

Este programa incluye los criterios de exclusión de datos según los datos faltantes. De acuerdo a diferentes corrientes, es posible utilizar para el análisis meses y años con cierto número de datos faltantes permisibles o sería necesario realizar el cálculo de éstos de acuerdo a diversos métodos de cálculo de faltantes y de pruebas de homogeneidad. El proceso de cálculo de datos faltantes es recomendado, principalmente, cuando se requiere una estadística que sirva para proyectar los valores en modelos de predicción, que requieren un fino detalle del comportamiento pasado. En el caso de este proyecto, y de acuerdo a la corriente climatológica que dicta que el cálculo de datos faltantes significa “falsear” o “inventar” datos, el criterio para la aceptación de meses o años para utilizar en los cálculos es: si un mes tiene 20 o más días con registro, se acepta como mes completo; si un año tiene 7 o más meses completos, se acepta. En ambos casos, si la premisa no se cumple, los datos son desechados.

2.1. Localización de estaciones meteorológicas

Como ha sido expuesto, la meteorología mide los fenómenos atmosféricos en un determinado punto, a través de aparatos de medición específicos para cada

fenómeno del estado del tiempo (viento, humedad, presión, temperatura y precipitación). Al estudiar una región, es necesario contar con registros meteorológicos en diversos puntos, y poder así obtener el comportamiento normal o típico de su estado del tiempo.

En base a la delimitación espacial del área de estudio, se localizaron las estaciones meteorológicas que son de utilidad en el proyecto de conformidad con las estaciones que forman parte de la red del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En el año 2006, se crea la base de datos *Eric III* (IMTA, 2006) que incluye todas las estaciones del país que estaban en funcionamiento desde el año 1905 hasta 2004 y que se encontraban en el sistema CLICOM.

En el caso de este proyecto, los cálculos se realizaron sobre una base de 124 estaciones meteorológicas (ver relación de estaciones en la Tabla A.1 del Anexo A), de las cuales 65 se encuentran dentro de los 20 municipios de la Huasteca Potosina; 16 más son parte del estado de San Luis Potosí, pero de municipios colindantes a la región estudiada; y el resto se reparten en los estados vecinos de la siguiente manera: 9 en el estado de Hidalgo, 5 en Querétaro, 14 en Tamaulipas y 15 ubicadas en el estado de Veracruz. La información meteorológica de las estaciones fuera del área de estudio es necesaria para la representación espacial del índice de severidad de la sequía, de la clasificación climática modificada de Köppen y de los análisis cruzados.

Algunas estaciones carecen de cierta información de acuerdo a la base de datos. Las estaciones sin coordenadas, por ejemplo, no cuentan con registros, aunque están dadas de alta en el sistema. Algunas otras, muestran los datos principales en el encabezado pero no reportan registros. Esto puede ser debido a estaciones que existen pero no funcionan o a registros que se hayan perdido o que muestren serias irregularidades. En la figura 2.1 se presenta la localización de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

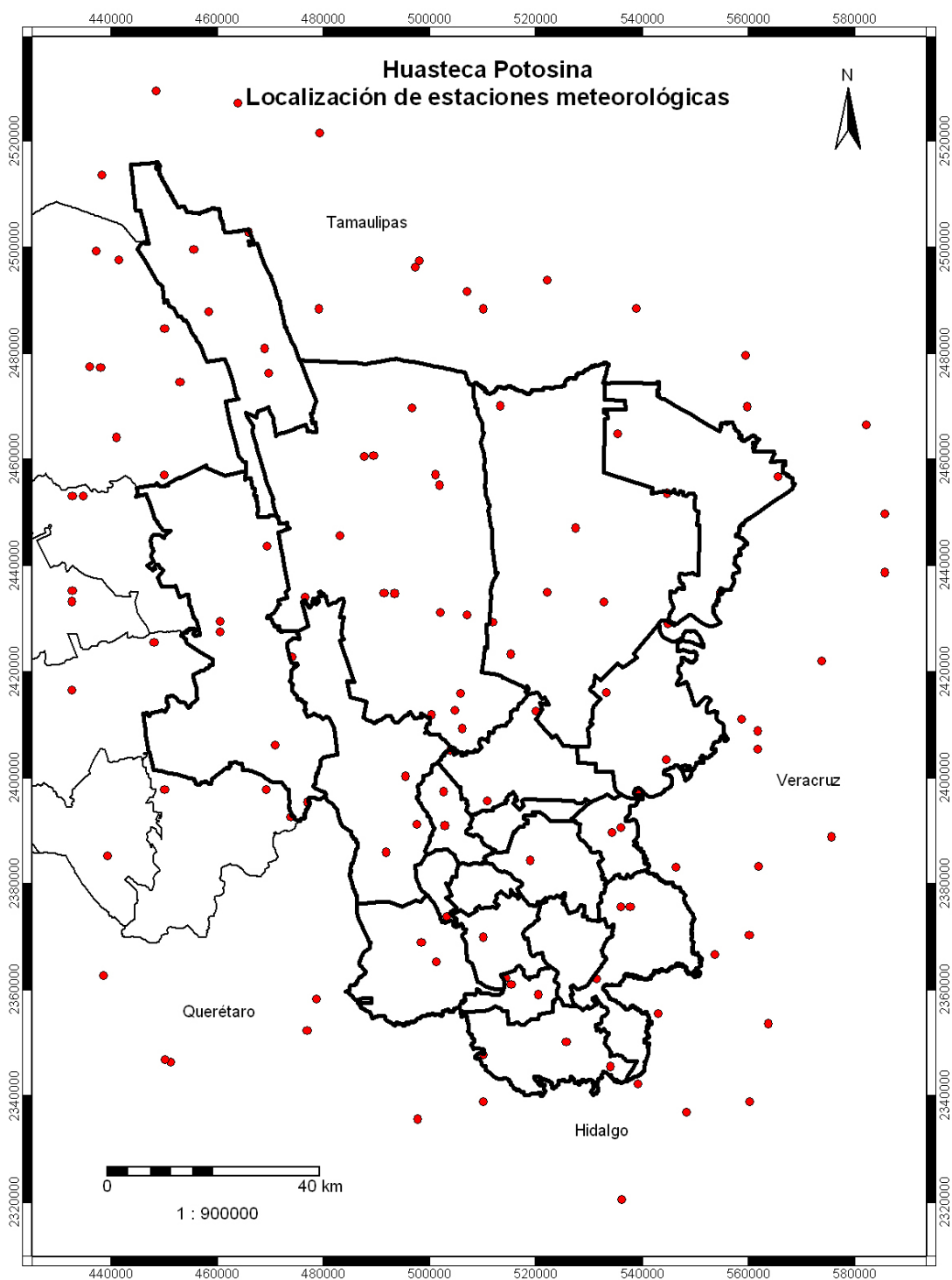


Figura 2.1 Localización de estaciones meteorológicas en la Huasteca Potosina y alrededores. Elaboración propia. Fuente: base de datos Eric III y correcciones en base a cartografía de INEGI escala 1:250,000 (INEGI, Cartas topográficas F14-5 y F14-8).

2.2. Creación de software climático

Los métodos seleccionados para conformar la metodología de esta propuesta necesitan de diversos cálculos realizados con los registros de precipitación y temperaturas diarias. Como ya se mencionó, estos registros son extraídos de la base de datos *Eric III* (IMTA, 2006), la cual tiene ordenadas las estaciones por clave y por estado y son extraídas las matrices de registros diarios desde su propia interfaz. Éstos se guardan en formato de texto (.txt), lo cual facilita el manejo de la información. La interfaz de *Eric III* tiene una opción para seleccionar tantas estaciones como uno desee, de seleccionar un polígono que delimite un área específica o seleccionar una por una, de un mapa, las estaciones requeridas. Se realiza esta selección para cada parámetro, precipitación, temperaturas mínimas y temperaturas máximas.

De acuerdo con el primer programa desarrollado, *LecturaEstaciones*, (Algara-Siller, 2008) las estaciones deben ser guardadas con la clave de la estación seguido por las mayúsculas P, TMN y TMX, precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima respectivamente (ejemplo: 24001P.txt). Este pequeño código realiza la tarea de convertir los registros en matrices individuales para cada estación y año un formato propio del lenguaje de programación *Matlab*, extensión .mat (Matlab, 2002).

Después de realizar este procedimiento básico, se procede a ejecutar *CalculoClimatico* (Algara-Siller, 2008), el cual realiza, primeramente, todas las operaciones básicas meteorológicas, de acuerdo en los datos originales diarios anteriormente homogeneizados en archivos .mat. Los cálculos básicos comprenden las medias de temperatura diaria (promedio de la temperatura máxima y mínima), las medias mensuales y anuales de temperaturas medias, mínimas y máximas, así como lo correspondiente a la precipitación. Los resultados son arrojados en un formato de texto, que transformado a formato de base de datos .xls, será luego importado al software de información geográfica Ilwis. *CalculoClimatico* también extrae las temperaturas máximas y mínimas históricas,

así como las precipitaciones máximas históricas. Además de estas operaciones básicas, el programa calcula el índice de severidad de la sequía, la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta y la clasificación climática modificada de Köppen, previo análisis de meses y años permisibles para el cálculo, según los lineamientos antes mencionados sobre datos faltantes.

En el caso de la clasificación climática modificada de Köppen por García, existe un programa que funciona en modo de sistema operativo de MS-DOS y necesita los registros mensuales y ordenados con cierto formato. Se decidió incluir en *CalculoClimatico* el cálculo de esta clasificación, evitando la utilización de 2 programas diferentes y utilizando los mismos datos tal cual son arrojados por *Eric III*. Esto facilita y ahorra trabajo. Sin embargo, la clasificación climática que se obtiene sólo incluye la zona climática – primera letra mayúscula -, la segunda letra mayúscula, en el caso de los climas secos tipo B – W o S, seco desértico o seco estepario, respectivamente - y las letras minúsculas que indican el régimen de lluvias y el límite térmico. Estos datos son los necesarios para el análisis propuesto en este estudio.

Las instrucciones necesarias para utilizar correctamente los programas *LecturaEstaciones* y *CalculoClimatico* se obtienen con el comando *help* dentro del área de trabajo de *Matlab* seguido por el nombre del programa que se quiera (ejemplo: *help CalculoClimatico*). *CalculoClimatico* es el programa eje porque realiza la mayoría de las operaciones importantes y a su vez manda llamar a otros programas pequeños para tareas específicas.

En cada uno de los temas de este capítulo, que se detallan a continuación, se explica cada método a utilizar, sus ecuaciones y condiciones, los cuales son la base de funcionamiento del programa *CalculoClimatico*.

El Anexo B contiene algunos fragmentos del código de programación más importantes.

2.3. Gráficas y cartografía meteorológica básica digital

La cartografía digital es indispensable para el análisis eficaz de la sequía. Convencionalmente se han trazado cartas meteorológicas a partir de interpolaciones realizadas a mano. Éstas son muy útiles, por su detalle, para la representación geográfica de eventos meteorológicos a lo largo de grandes períodos de tiempo, como el comportamiento normal histórico de cierto evento.

Como ya se ha explicado, este proyecto propone una metodología multi-temporal basada en diferentes períodos de tiempo, así como de años específicos en los que se analiza el comportamiento meteorológico de ciertos años que muestran mayor incidencia o índice de sequía. Así, el trazado a mano de la cartografía resulta insuficiente y se propone la realización de las cartas por medios digitales basados en el software de Sistema de Información Geográfica Ilwis. Mediante la interpolación de los datos de precipitación, temperaturas e índice de severidad de la sequía, se obtienen cartas que son posteriormente utilizadas para un análisis de sobreposición de múltiples capas.

Para la selección del método de interpolación a utilizar en este proyecto se realizaron varias pruebas, observando que el método “moving averages” o “medias móviles” arrojó los mejores resultados. Una debilidad de la interpolación es que los métodos existentes no toman en cuenta la altitud, es decir, el gradiente vertical de temperatura, que depende de la ley general de los gases y que consiste en su disminución conforme se aumenta la altitud en un mismo punto, no se toma en cuenta.

Tradicionalmente, la cartografía básica meteorológica, de sequía y de clasificación climática se realiza a mano tomando en cuenta el relieve y otros factores y lleva varios meses para su terminación. La propuesta de automatización y de análisis por períodos de tiempo e inspección de años individuales, imposibilitan el uso de la técnica manual, pero reducen el tiempo de análisis a sólo algunas horas o días. Esto favorece la sistematización del análisis de la sequía y su futura utilidad en la aplicación socio-económica para delinear políticas públicas.

En lo general, la representación gráfica propuesta con la interpolación seleccionada arroja resultados menos detallados pero congruentes con el comportamiento general del clima regional, aportando además la capacidad para manejar grandes cantidades de datos en poco tiempo y con mayor exactitud. Sin duda esto enfrenta a la escuela tradicional descrita, pero ofrece nuevos paradigmas de análisis.

Las cartas meteorológicas incluyen las isoyetas o líneas de igual precipitación y las isotermas o líneas de igual temperatura. Las isotermas se obtienen para las temperaturas mínimas, medias y máximas, de manera que se puedan comparar los valores extremos con facilidad. Además, se grafican las columnas de precipitación para contrastar los valores medios para cada año del período con la media de precipitación y con la moda ajustada a la función gamma incompleta, según se verá en el apartado 2.5.1 de este capítulo. Utilizando los datos mencionados se obtienen gráficas a partir de una regresión lineal para conocer las tendencias de su comportamiento.

Una vez desarrollados los conceptos básicos de meteorología y de ser representados cartográficamente, se procede a clasificar el tipo de clima según el reporte meteorológico de cada estación.

2.4. Clasificación climática de Köppen modificada por García

Como ya se mencionó en el capítulo I, la clasificación climática de Köppen fue modificada por García (1988) para responder a las características florísticas particulares de nuestro país que escapaban al sistema original:

“Hasta ahora nosotros no hemos tomado en consideración las diferencias entre los climas de las llanuras de las latitudes superiores y los de las montañas de las bajas latitudes, a pesar de que ellos no se corresponden en las condiciones de sus regímenes de temperaturas y de lluvias.” (Köppen, 1936, citado por García, 1988:8)

Por esto, García propone las modificaciones al sistema de Köppen y logra introducir símbolos que representen las diversas agrupaciones florísticas localizadas a diferentes altitudes de nuestro país. Debido a esta correlación vegetación-meteorología y acorde con nuestro contexto geográfico, la clasificación climática de Köppen modificada por García es el método seleccionado para representar el clima en este proyecto.

En esta clasificación, los tipos y subtipos de climas son nombrados por letras. Los cinco principales tipos de clima corresponden a grandes zonas climáticas que guardan características climáticas generales similares: A, lluvioso tropical; B, seco; C, templado D, boreales o de nieve y bosque; y E, polares o de nieve. A continuación de la clasificación general, le siguen diversas letras que describen el subtipo con características más específicas sobre la mayor o menor humedad de un tipo, la estación más seca del año y su duración, así como sus límites térmicos. En el caso de la segunda letra mayúscula en el caso de los climas B y E, corresponde a un subtipo regional. En el caso de los climas B, de los cuales se encontraron pocos casos en este estudio, BW se utiliza para los climas secos desérticos y BS para secos esteparios.

La segunda parte importante de la clasificación climática es la que especifica los regímenes de lluvias y límites térmicos de cada zona. En el caso de la Huasteca Potosina, la mayor parte corresponde al clima A, tropical, y el régimen de lluvias se señala con letras minúsculas: *f* para lluvias todo el año; *m* en el caso de lluvias monzónicas; y *w* para lluvias en verano. Para precisar la ocurrencia de precipitación se utilizan las letras minúsculas: *x'* para lluvias escasas todo el año; *s* en el caso de lluvias en invierno y sequía en verano; *w'* que corresponde a una estación de lluvias en otoño; *s'* cuando la estación lluviosa de invierno se presenta adelantada en el otoño; y *x* para las lluvias de primaverales.

Además, algunas zonas de la región de estudio y sus alrededores, se clasifican como zonas límite entre clima tropical tipo A y clima templado, como por ejemplo (A)Cb(*m*), donde la *b* indica que la temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, al contrario si esta letra fuera substituida por una *a* para indicar al mes más

cálido con un registro mayor a los 22 °C. La letra *m*, como ya se dijo corresponde a lluvias monzónicas y la zona (A) que precede es el indicador de la zona límite. El resto de las letras minúsculas se refieren a las mismas condiciones de precipitación descritas para los climas tipo A.

El subprograma *ClasificacionClimatica* (Algara-Siller, 2008), realiza las operaciones necesarias para la identificación del tipo general del clima y de los dos primeros subtipos para cada uno. Esta clasificación se utilizará para validar los años de sequía obtenidos con el ISS y MPA. Un año con presencia de sequía, según los indicadores, será reflejado con una clasificación climática correspondiente a un tipo de clima más seco de lo normal.

La figura 2.2 es la representación espacial de la clasificación climática normal para la región, realizada con los registros meteorológicos existentes hasta el año 2002 por Hernández (Hernández, 2007). La mayor parte del territorio presenta climas del tipo cálido subtropical (A), dejando pequeñas áreas con climas templados (C), que corresponden a las regiones de mayor altitud a lo largo de la Sierra Madre Oriental. Esta carta fue realizada con los resultados de clasificar las condiciones normales de precipitación y temperatura que se muestran en la Tabla A.2 del (Anexo A).

Una vez obtenida la clasificación climática para la región y teniendo un primer acercamiento a los cambios de algunas estaciones hacia climas más secos, se utilizan dos métodos cuantitativos de sequía que ofrecen resultados más detallados según la intensidad de su presencia.

2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DEL FENÓMENO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA

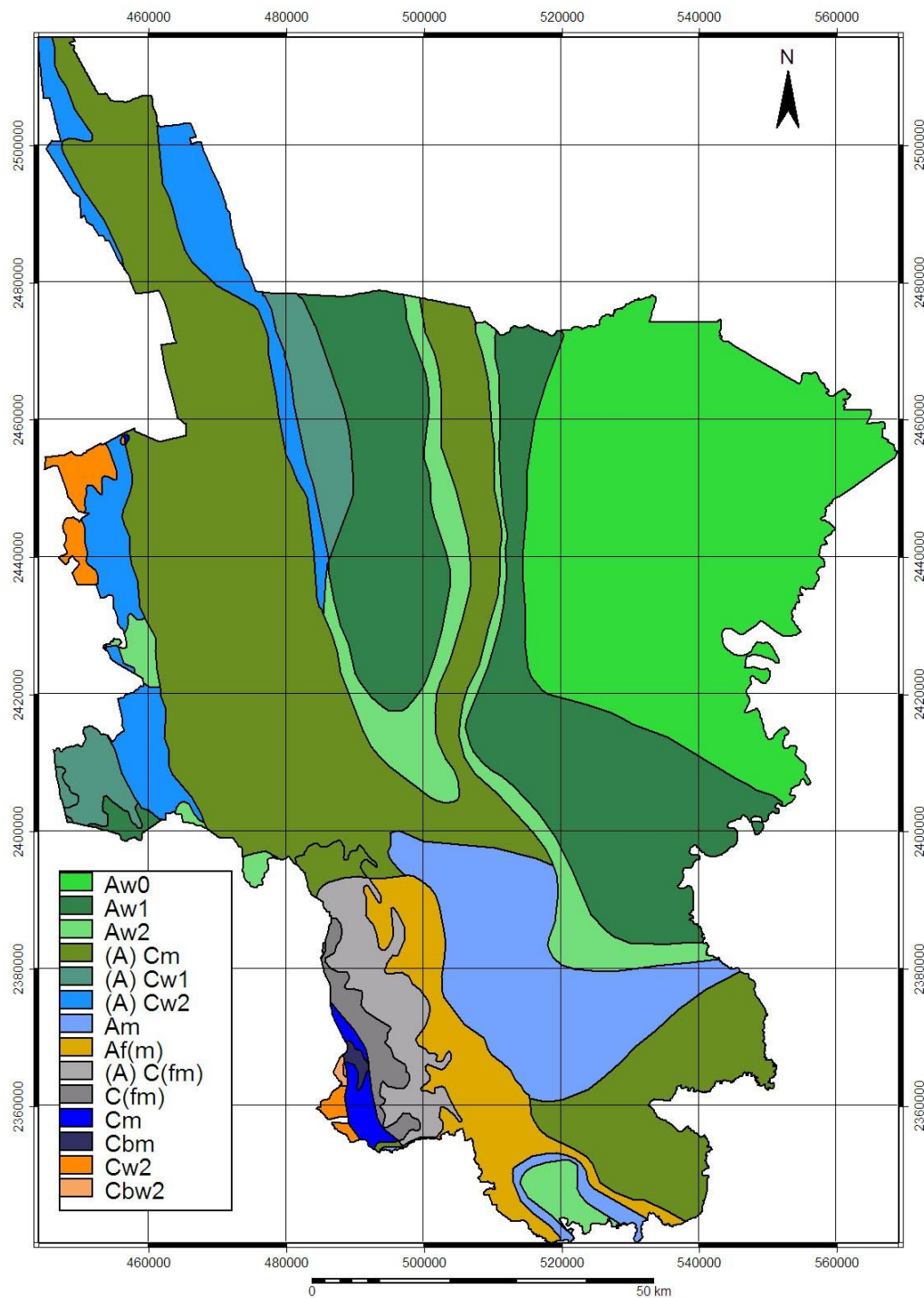


Figura 2.2 Clasificación climática de Köppen modificada por García para la región de la Huasteca Potosina (Hernández, 2007).

2.5. Métodos utilizados para determinar el fenómeno de la sequía

Para medir el déficit de precipitación existen diversos métodos que se han desarrollado, según los datos meteorológicos disponibles en la región. En este estudio se proponen dos métodos que han sido estudiados y probados en análisis de sequía realizados en México. El fin que se busca al utilizarlos de manera conjunta, es la validación de los indicadores de sequía. Así, logramos dos medidas de la sequía basadas en métodos estadísticos, el índice de severidad de la sequía y la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta, y una tercera, la clasificación climática de Köppen modificada por García el asigna una clasificación acorde a la vegetación posible con sus condiciones meteorológicas.

Otros métodos importantes para la cuantificación de la sequía son el Índice Estandarizado de Precipitación (IPE o SPI por sus siglas en inglés) fue desarrollado en 1993 por McKee et al. (McKee et al., 1993), del Colorado State University (Hayes et al., 1999). Este índice se calcula de acuerdo al déficit de precipitación y sus impactos en la humedad del suelo, almacenamiento de aguas superficiales, nieve y corrientes de agua, midiendo este déficit en múltiples escalas de tiempo. Las escalas de tiempo nos representan el impacto que la sequía tiene en la disponibilidad en diversos recursos de agua. Este registro se ajusta a una distribución de probabilidad transformada a una distribución normal, de manera que el índice medio para una zona sea cero, negativo para eventos de sequía y positivo par eventos de exceso de precipitación. El IPE es calculado para períodos de 3, 6, 12, 24 y 48 meses, utilizando datos en tiempo real, es decir, actualizados al mes anterior. El IPE no es utilizado para los fines de este estudio, por sus características de actualización de registros que no existen para las estaciones de la región de estudio.

Un método más que goza de cierta importancia en Estados Unidos es el Índice de Sequía de Palmer, que fue creado para tomar en cuenta, además de las variables meteorológicas como precipitación y temperatura, la cantidad de humedad del suelo (Dai et al, 2004). Este índice, como lo dice el propio Palmer

(Palmer, 1965) sirve para evaluar anomalías meteorológicas y permitir comparaciones de la severidad de la sequía a través del tiempo y espacio. Aunque este índice ha sido utilizado durante 30 años, uno de los problemas que se ha encontrado es su inconsistencia en diferentes (Wells et al, 2004) regiones de Estados Unidos. Esto hace que el método se complique y que Wells et al. (Ibid) propongan un cálculo de variables para la auto calibración del índice. El índice de Palmer, es muy complejo y requiere de datos de humedad del suelo, los cuales sólo se encuentran en muy pocas estaciones meteorológicas de México, impidiendo su utilización en este estudio.

Por lo explicado, se realiza a continuación el cálculo de la moda estadística ajustada a la función gamma incompleta y el índice de severidad de la sequía.

2.5.1. Moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta

Comúnmente se ha utilizado la media como medida del valor más representativo en diferentes aplicaciones científicas. Sin embargo, en el caso de la precipitación, la media aritmética o promedio deja de ser adecuada por la variabilidad que la precipitación presenta. La disparidad de los datos se acentúa en climas semiáridos y áridos. Las primeras reflexiones acerca de la variabilidad de la precipitación en zonas áridas fueron advertidas desde 1941 por Conrad (Mosiño y García, 1981).

La media aritmética en una distribución normal que cae en la frecuencia central de la curva de distribución de Gauss. Esto significa que la distribución de las frecuencias es simétrica y la media, moda y mediana serán iguales. La distribución de las precipitaciones, sin embargo, representada en la misma gráfica de Gauss, nos muestra que la distribución no es simétrica. La mayor frecuencia de precipitaciones corresponde al valor que tiene más probabilidad de presentarse en determinado período. La medida de la mayor frecuencia es la moda. Ahora nos encontramos con otro inconveniente. La moda estadística, como comúnmente se

calcula, es decir el valor que más veces sucede, también nos arroja resultados equivocados en climas áridos. En estos climas nos enfrentamos a que la mayor probabilidad de lluvia en determinado mes es igual a cero, por tanto la moda será igual a cero. Si se calcula la media, esta podrá ser muy diferente con la simple presencia de unos cuantos días lluviosos.

García y Hernández (1988) indican que es importante el ajuste de las curvas a la distribución *gamma* incompleta y que se obtiene un mejor resultado con la moda que con la media, ya que la probabilidad de la primera de ocurrir oscila entre 70 y 75% y la segunda ocurre en un 50% o hasta una probabilidad tan baja como un 23% (García et al., 1977). La moda indica el valor que ocurre con más frecuencia y su valor será siempre menor al de la media.

Ahora se realiza el cálculo de la moda de la precipitación, con el ajuste mencionado, para cada estación. Realizando estos cálculos para todas las estaciones de la zona de estudio, obtenemos como resultado una tabla donde se enumeran los años en los que la precipitación fue mayor al 25% de la moda de la precipitación para todo el período con registros (exceso de precipitación), así como los años donde esta fue 25% menor a la moda (años con sequía).

Mosiño y García (1981) proponen la siguiente fórmula de fácil aplicación:

$$\text{Fórmula 2.1 } \textit{Moda} = \bar{X} - \frac{\sigma^2}{\bar{X}}$$

, donde \bar{X} es la media aritmética y σ^2 es la desviación estándar de las precipitaciones para todos los años con registro. El método completo de ajuste de la moda a la distribución *gamma* incompleta es muy complicado. Por esto, se utiliza un método que obtiene parámetros de la distribución *gamma* incompleta ajustada a las series de precipitación. El método de cálculo de la moda es explicado por Mosiño y García (1981) en un estudio de la variabilidad de la precipitación en México y por García et al. (1977) en su trabajo sobre la precipitación en la República Mexicana y evaluación de su probabilidad.

Los métodos descritos validan el cálculo del índice de severidad de la sequía que a continuación se presenta.

2.5.2. Índice de severidad de la sequía

Este método de medición de índice de sequía ofrece resultados que son el cociente de la diferencia de precipitación de los meses con déficit de un año y la precipitación normal entre la precipitación normal, es decir, es el porcentaje de lo que faltó por llover en un año dado comparado con lo que comúnmente llueve. El índice de severidad a la sequía puede ser aplicado a cualquier región ya que es independiente del tipo de clima. Este índice propone 7 niveles (Hernández et al., 2000): ausente (0 a -0.2), leve (-0.2 a -0.35), fuerte (-0.35 a -0.4), muy fuerte (-0.4 a -0.5), severo (-0.5 a -0.6), muy severo (-0.6 a -0.8), extremadamente severo (menor a -0.8). La tabla 2.1 muestra un ejemplo sobre el cálculo de este índice y su fórmula.

Tabla 2.1 Ejemplo de precipitaciones mensuales para el cálculo del índice de severidad de la sequía. Elaboración propia.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
X (mm)	20	25	31	45	102	151	170	160	100	85	70	65
\bar{X} (mm)	19	28	33	43	100	165	190	150	90	89	68	60

$$\text{Fórmula 2.2 } IS = \frac{\sum X - \sum \bar{X}}{\sum \bar{X}}$$

, donde $\sum X$ corresponde a la sumatoria de las precipitaciones mensuales para el año calculado que fueron menores a la media, y $\sum \bar{X}$ corresponde a la sumatoria de las precipitaciones medias mensuales (para todos los años con registro) que fueron mayores a los meses del año en estudio.

2.6. El Niño Oscilación Austral, ENOA

Como ya se mencionó en el Capítulo I de esta tesis, El Niño Oscilación Austral, ENOA (ENSO, por sus siglas en inglés) afecta los patrones de circulación atmosférica, aumentando la temperatura del Océano Pacífico y, por consecuencia, la evaporación. Por lo contrario, La Niña aparece cuando la temperatura del océano disminuye, comparada con su media, y la evaporación también.

Debido a que el ENOA es un fenómeno recurrente que tiene cierta periodicidad, y por sus efectos en los patrones de circulación atmosférica, se utiliza para correlacionarlo con el fenómeno de la sequía. Existen algunas bases de datos con los registros de aparición de El Niño y La Niña, lo cuales se utilizaron para el análisis de correlación. Los registros más antiguos datan de 1950, pero no es hasta finales de los 60s que los registros son más confiables, debido a dos razones: uno, el fenómeno apenas comenzaba a estudiarse y los métodos son cuestionados; y dos, no existen mediciones de la temperatura del océano anteriores a 1950 y las medias han sido inferidas por mediciones inconsistentes y circunstanciales.

La presencia del fenómeno de El Niño, como se ha visto, tiene el efecto de alterar los patrones de circulación atmosférica de manera negativa en cuanto a la cantidad de lluvia en la Huasteca Potosina. La detección temprana de El Niño, su correcta medición en las costas de Perú y la difusión de dichas mediciones, son muy importantes para la preparación de la región ante el fenómeno de la sequía.

En el siguiente capítulo se muestran los resultados de la metodología descrita y se analizan los impactos de la sequía en la región de estudio para proponer medidas de mitigación que permitan su mejor gestión y aminorar los daños.

2.7. Sistemas de información geográfica para el análisis del fenómeno de la sequía

Mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se realiza un análisis *booleano* con las cartas de severidad de la sequía y las de uso de suelo anteriormente descritas. Éste método consiste en la obtención de áreas que cumplen con requisitos predispuestos de ocurrencia de valores de las dos cartas utilizadas en cada período, a través de operadores lógicos. Se utilizan también los períodos 1961-1973, 1973-1985 y 1961-2000, de acuerdo a las cartas de uso de suelo existentes para los años 1973, 1985 y 2000. Éstas cartas fueron elaboradas por un grupo de geógrafos como parte del proyecto SAGARPA-2004-C01-186/A-1: *“Propuesta de una metodología para identificar zonas vulnerables a la sequía y a las plagas que afectan a las actividades agropecuarias en la Huasteca Potosina, apoyada en imágenes de satélite, sistemas de información geográfica, análisis multivariado y un modelo de simulación climática”* a cargo de la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El software utilizado para este análisis es ILWIS.

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA

La representación de los parámetros básicos meteorológicos, precipitación y temperatura, es el primer paso para cualquier análisis climatológico. Después, se presentan los resultados de la metodología propuesta en el capítulo anterior, para luego realizar el análisis histórico del comportamiento de la sequía y el uso de suelo de la región.

3.1. Análisis y resultados de la información de precipitación

En la figura 3.1 se presentan las columnas de precipitación para las 46 estaciones de la Huasteca Potosina que contaron con registros durante por lo menos 25 años. La precipitación media para la región es de 1,529 mm anuales. La precipitación más alta de 2,196 mm se presentó en 1933, mientras que en 1982 se presentaron las lluvias más bajas de todo el período con un total de 915 mm, es decir, el 60% de la precipitación normal de la región. Además, se destaca el año de 1982 con la menor precipitación registrada en todo el período. Esto es corroborado con lo reportado en toda la región de Latinoamérica y relacionado con la presencia de El Niño (Maskrey et al., 1993). Por otro lado, la figura 3.2 muestra una tendencia de disminución de 159 mm en los últimos 40 años.

También se presenta la figura 3.3 con la distribución de lluvias mediante isoyetas. Como se puede apreciar, la parte de la planicie del Golfo es la región con menores precipitaciones, registrando un mínimo de hasta 835 mm en la localidad de Velazco, municipio de Tamuín limítrofe con Ébano, al contrario de la parte que corresponde al pie de monte y ladera este de la Sierra Madre Oriental, donde encontramos la mayor precipitación en el municipio de Xilitla, en la estación de Tlamaya, con un registro medio para el período en estudio de 3,020 mm.

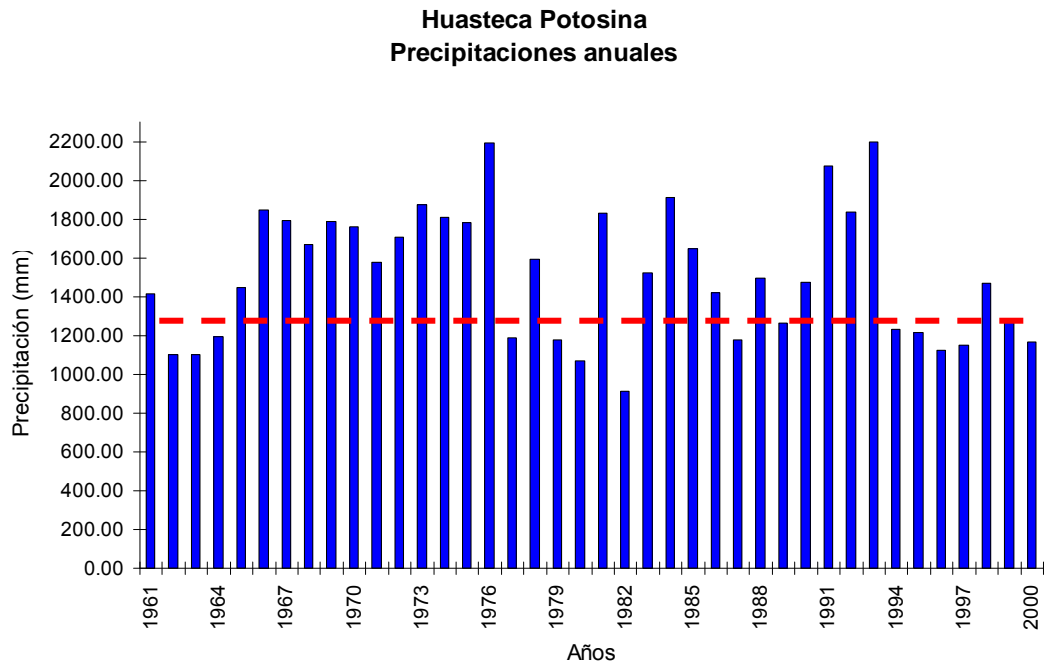


Figura 3.1 Precipitaciones anuales en la Huasteca Potosina. Elaboración propia.

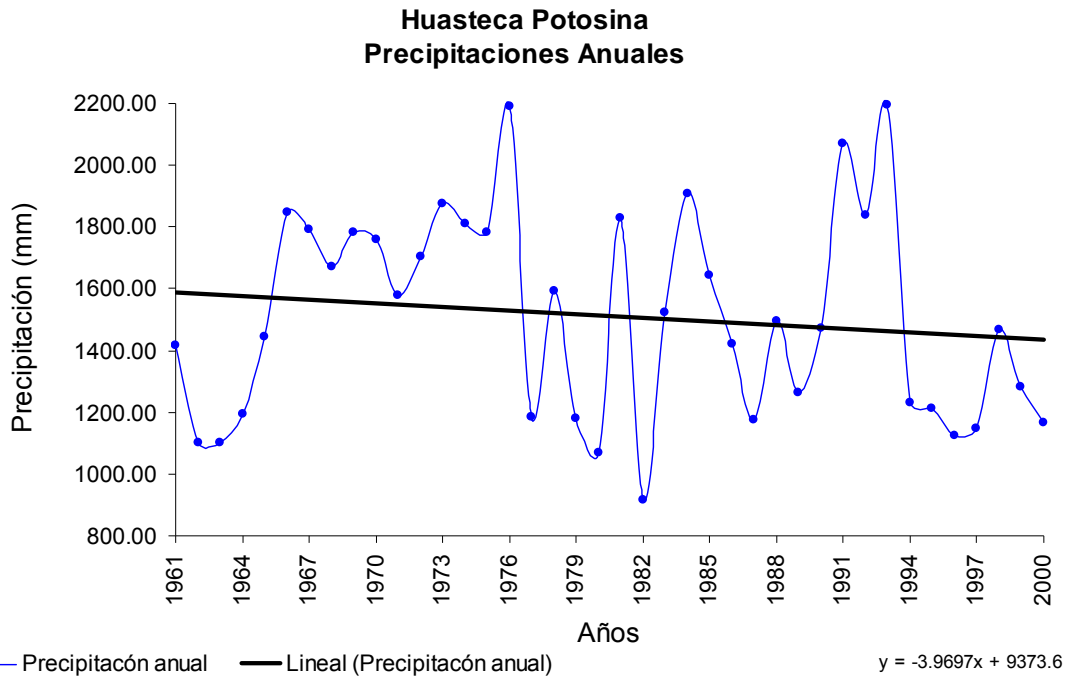


Figura 3.2 Precipitaciones anuales en la Huasteca Potosina y su tendencia. Elaboración propia.

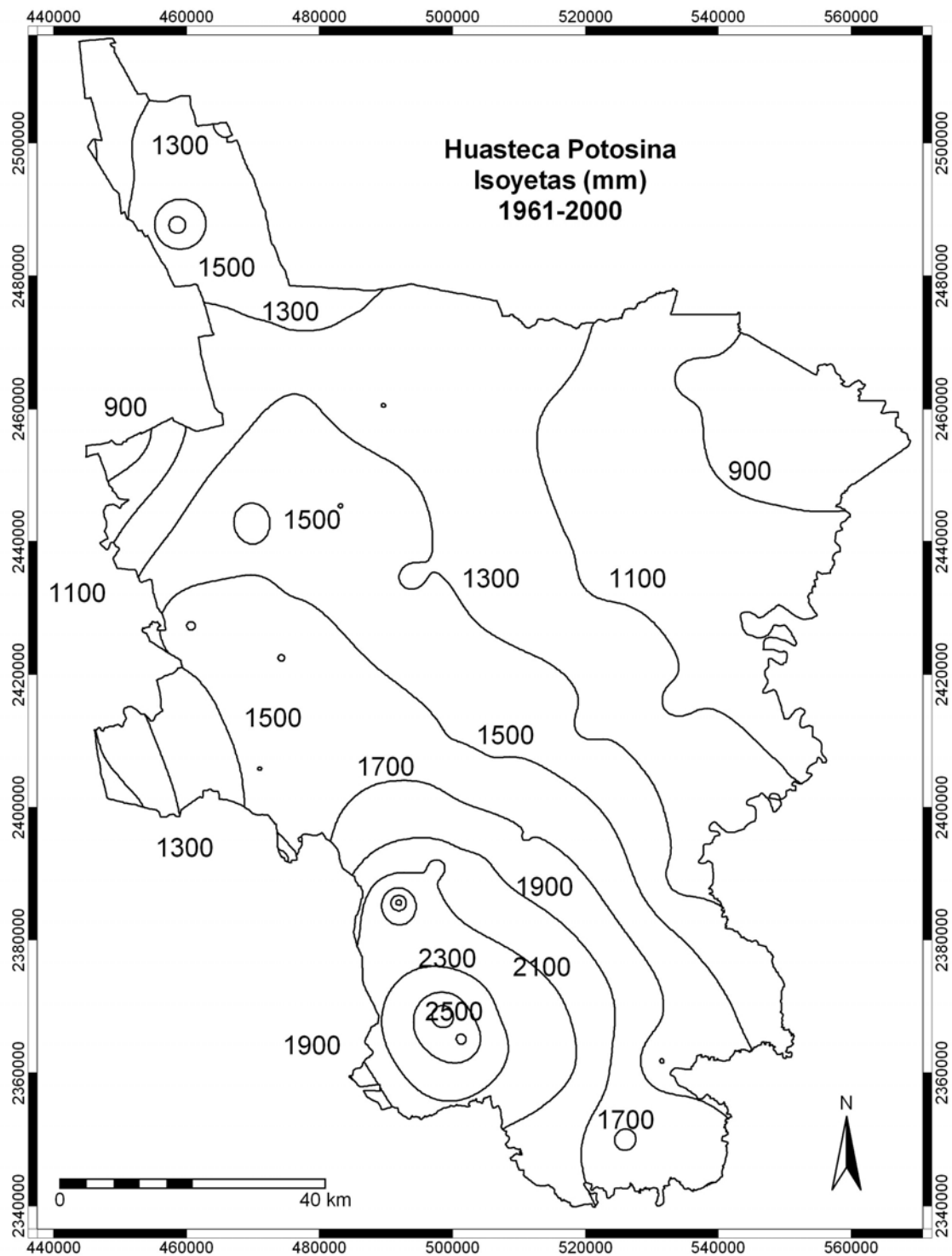


Figura 3.3 Isoyetas en la Huasteca Potosina. Elaboración propia basada en la base de datos Eric III.

De manera individual para cada estación, el programa CalculoClimatico grafica las precipitaciones en barras que representan la columna de agua para cada año que se cuente con registros. Como el total de estaciones para la Huasteca Potosina es de 46, se presenta aquí el ejemplo de la estación 24025 que corresponde a la estación de El Pujal en Ciudad Valles, la cual se escogió como ejemplo porque cuenta con 40 años con registros, el máximo de años disponible (figura 3.4).

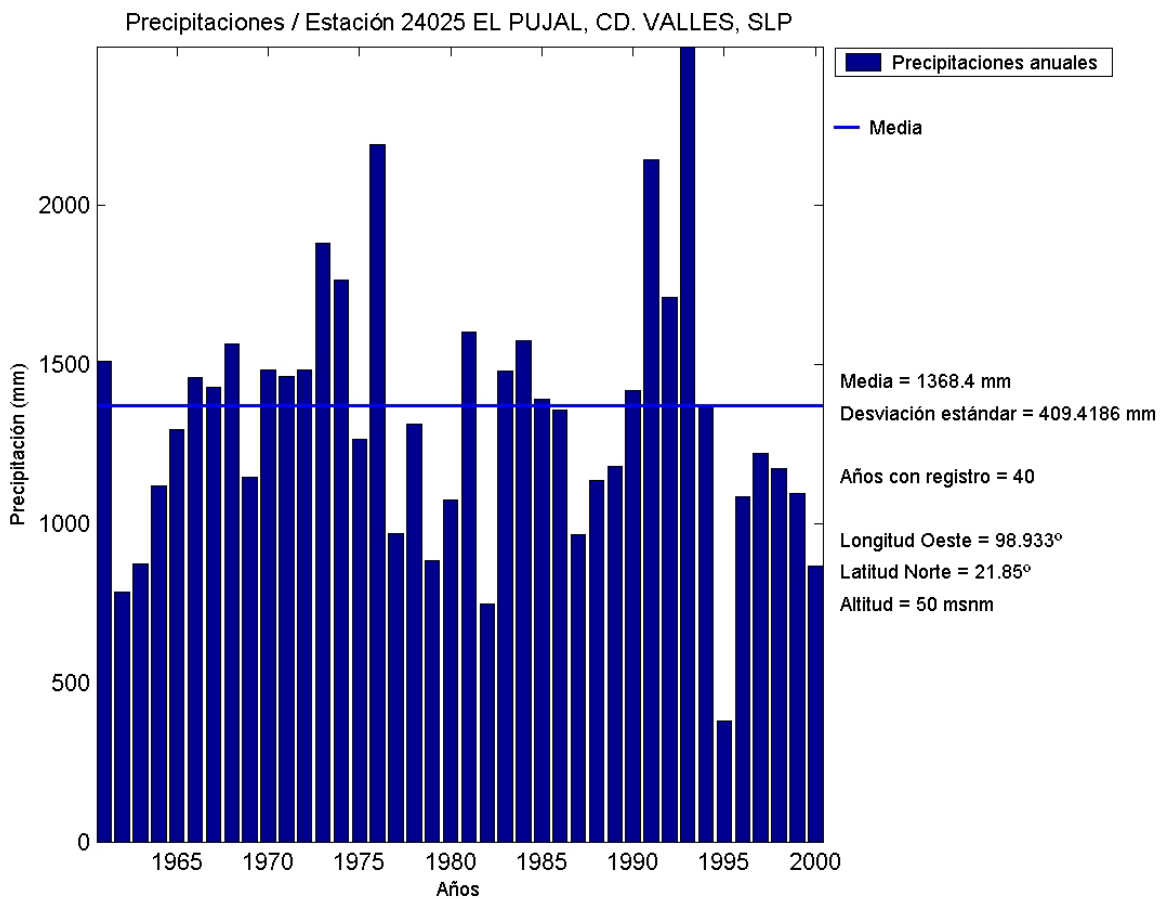


Figura 3.4 Precipitaciones anuales en la estación El Pujal, Ciudad Valles, SLP. Elaboración propia.

En la figura anterior se observan variaciones de lluvia en cantidades netas de milímetros de precipitación para la estación de El Pujal, Ciudad Valles. En esta estación se registró una precipitación mínima de 378 mm en el año de 1995 y una

máxima de 2,495 mm en 1993, esto es una diferencia de 2,117 mm, que corresponde a una desviación estándar de 409.4 mm, es decir, que existe en promedio una diferencia de 409 mm con respecto de la media. Por razones de espacio se omiten presentar el total de 46 gráficas de precipitación, ya que sumadas con las de temperaturas y anomalías, que se verán más adelante, sumarían 138. La estación El Pujal servirá también de referencia más adelante.

3.2. Análisis y resultados de la información de temperatura

La gráfica de tendencia de temperatura medias (figura 3.5) se elaboró utilizando las 43 estaciones de la Huasteca Potosina que cumplieron con el mínimo de años completos. Por otro lado, las cartas de temperaturas mínimas, medias y máximas, fueron representadas por una gráfica (figura 3.6) y con cartas de isoyetas (figuras 3.7 a 3.9), se realizaron mediante la interpolación de los registros de todas las estaciones seleccionadas que cumplieron con el requisito de años completos, antes mencionado.

La gráfica de temperaturas medias para la región muestran la tendencia de la con un ascenso medio de la temperatura de 0.72 °C en un período de 40 años, de los 23.85 °C en 1960 a los 24.57 °C en el año 2000 (figura 3.5). El comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas es muy similar, registrando un aumento de 0.75 °C en el caso de las temperaturas mínimas y 0.74 °C en las temperaturas máximas. Esto indica que no existe un patrón de aumento de temperatura diurno distinto a un patrón nocturno. El calentamiento es homogéneo a lo largo de las 24 horas de un día.

La figura 3.7 muestra las temperaturas mínimas registradas en la región que va desde un mínimo de 14.3 °C en el Ejido Abritas, El Naranjo, justo en la Sierra Madre Oriental a una altitud de 2,200 msnm. La diferencia con la temperatura mínima más elevada registrada en la región es de 5.5 °C, que corresponde a la estación de Ballesmí, en Ciudad Valles la cual registró una temperatura mínima de

19.8 °C y se encuentra en la región occidental de la Planicie del Golfo a una altitud de 30 msnm.

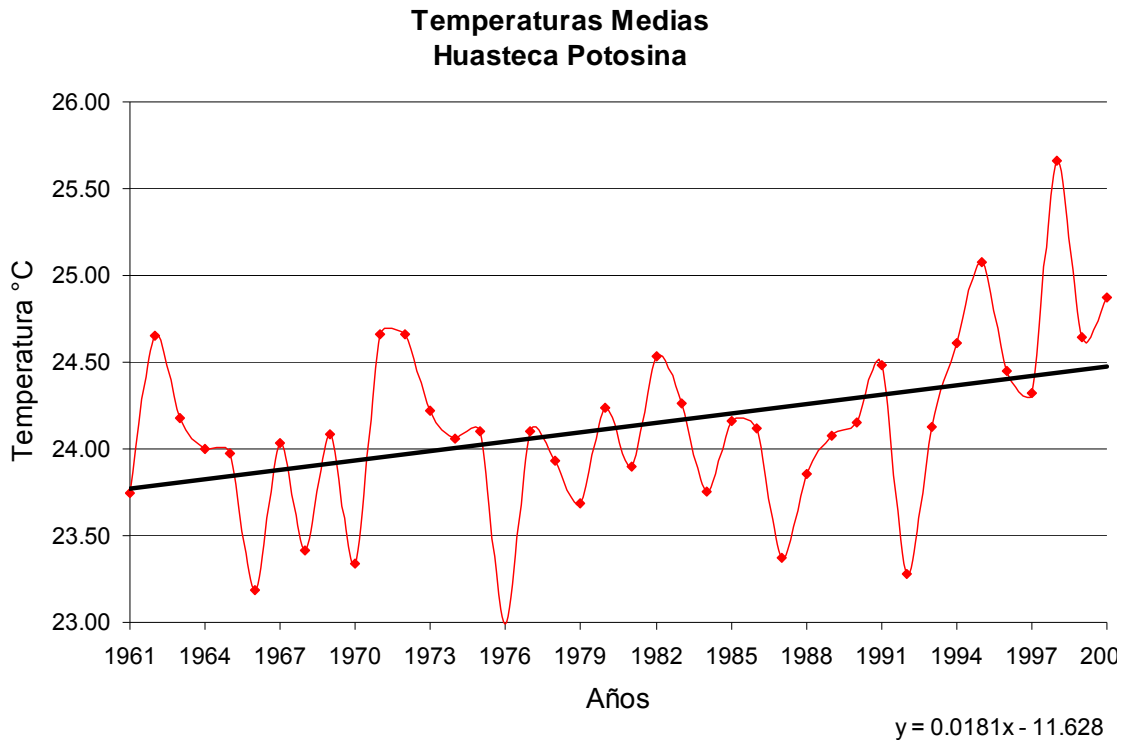


Figura 3.5 Temperaturas anuales en la Huasteca Potosina y su tendencia. Elaboración propia.

De la misma manera, la figura 3.8 corresponde a las temperaturas medias, que corresponden al promedio de la temperatura mínima y máxima registrada para cada estación. La temperatura media más baja corresponde también a la estación Ejido Abritas con una temperatura de 20.2°C, mientras que la temperatura media más elevada se registró en El Coco, justo en el centro del municipio de Tamuín, ascendiendo a 25.8 °C a una altitud de 20 msnm. El Coco se encuentra ubicado a aproximadamente 50 km de Ballesmí. Ahora, las temperaturas máximas (figura 3.9) reportadas ofrecen una oscilación de 7.2 °C entre las máximas de las temperaturas máximas comparando los 25 °C registrados en Tamapatz, Aquismón, y los 32.2 °C registrados en El Coco, Tamuín. La estación de Tamapatz

está reportada en la base de datos *Eric III* a una altitud de 39 msnm, pero no concuerda con las curvas de nivel. Se procedió entonces a extraer la información mediante un Modelo Digital de Terreno para el que corresponde una altitud de 779 msnm. Esto concuerda con que la estación está ubicada en el tercio inferior del municipio de Aquismón, justo en la Sierra Madre Oriental a tan sólo 8 km de la cabecera municipal, Aquismón, la cual está a 45 msnm.

De la misma manera que con la precipitación, se grafican las temperatura mínimas, medias y máximas. En la figura 3.9 se aprecian los valores de la temperatura anual de las temperaturas medias y su desviación estándar de 0.6°C con respecto a la media de 25.3°C y una diferencia de 2.27°C entre los valores extremos de las temperaturas anuales.

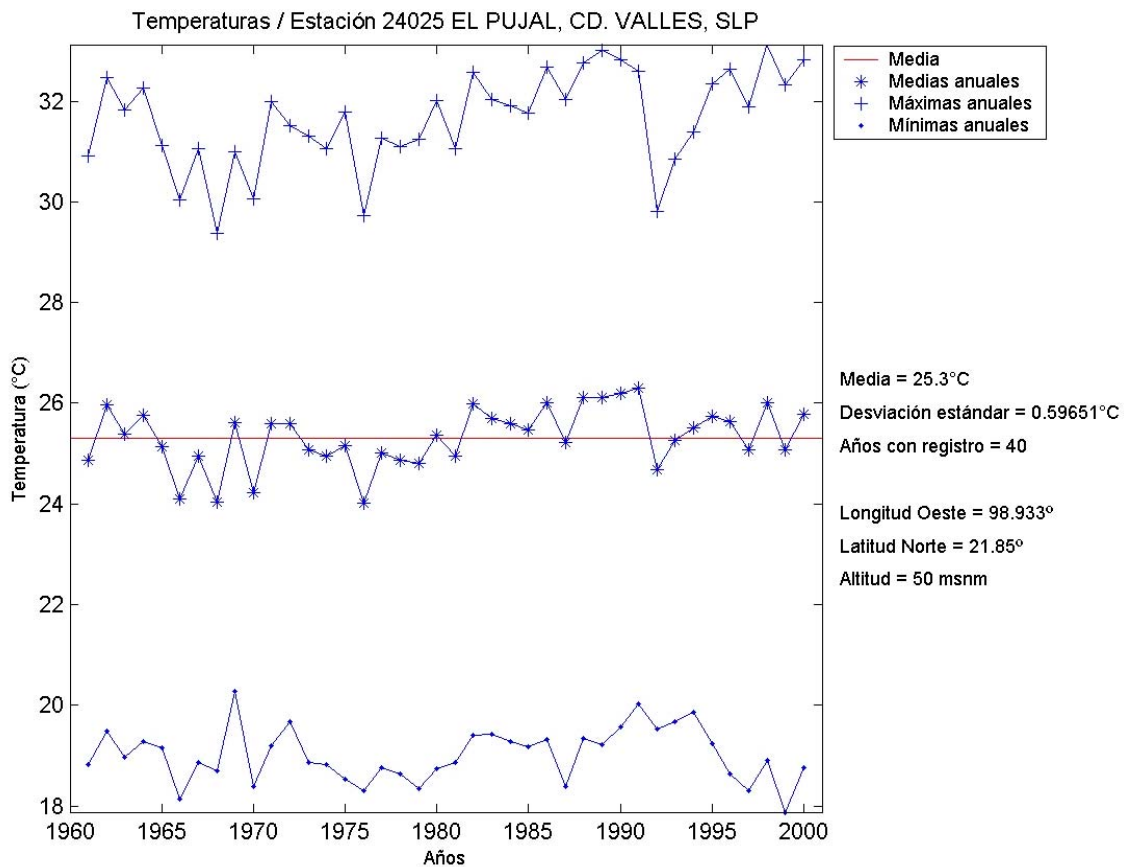


Figura 3.6 Temperaturas mínimas, medias y máximas en la estación El Pujal, Ciudad Valles, SLP. Elaboración propia.

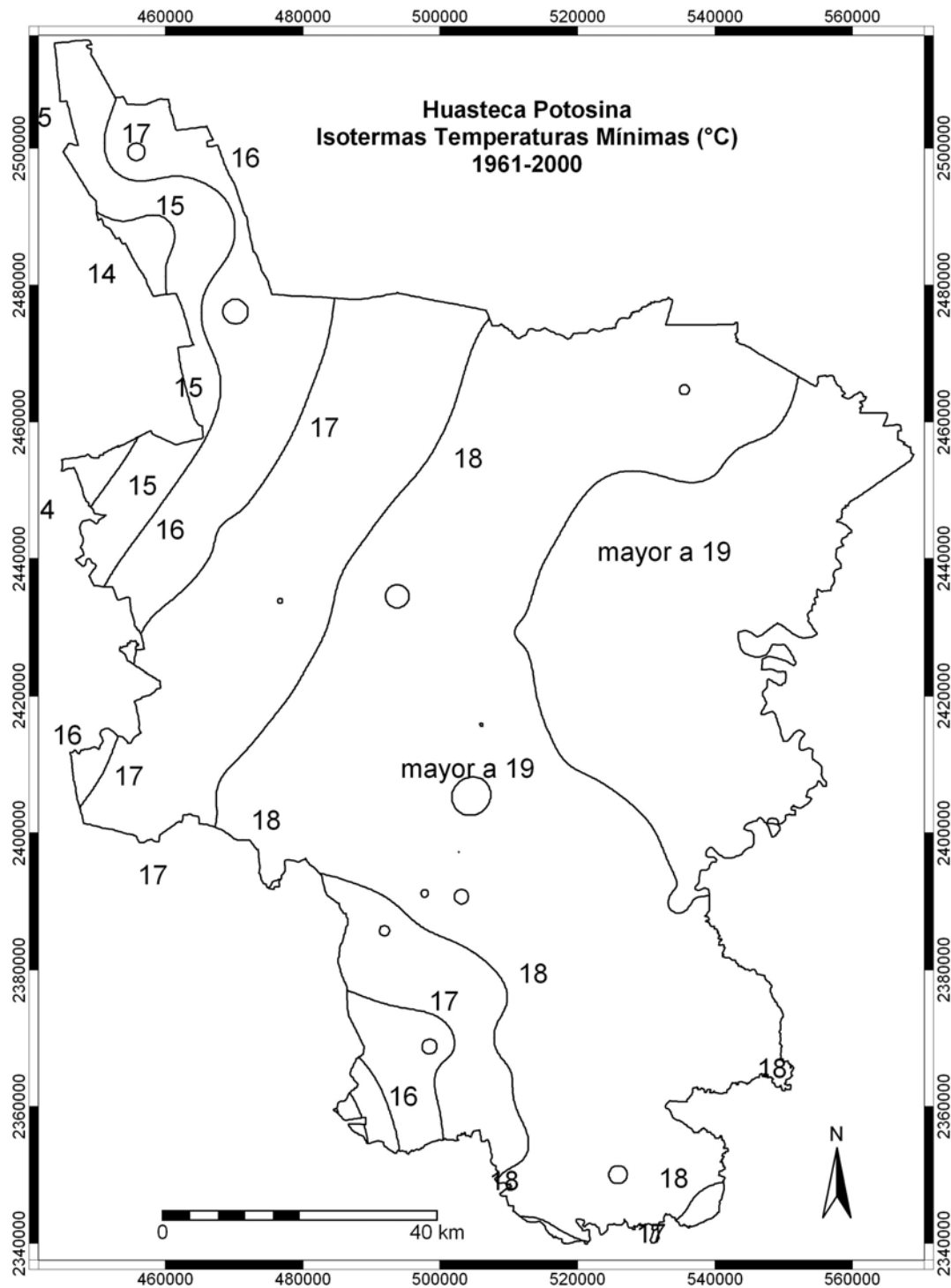


Figura 3.7 Isothermas de temperaturas mínimas para la Huasteca Potosina. Elaboración propia basada en la base de datos Eric III.

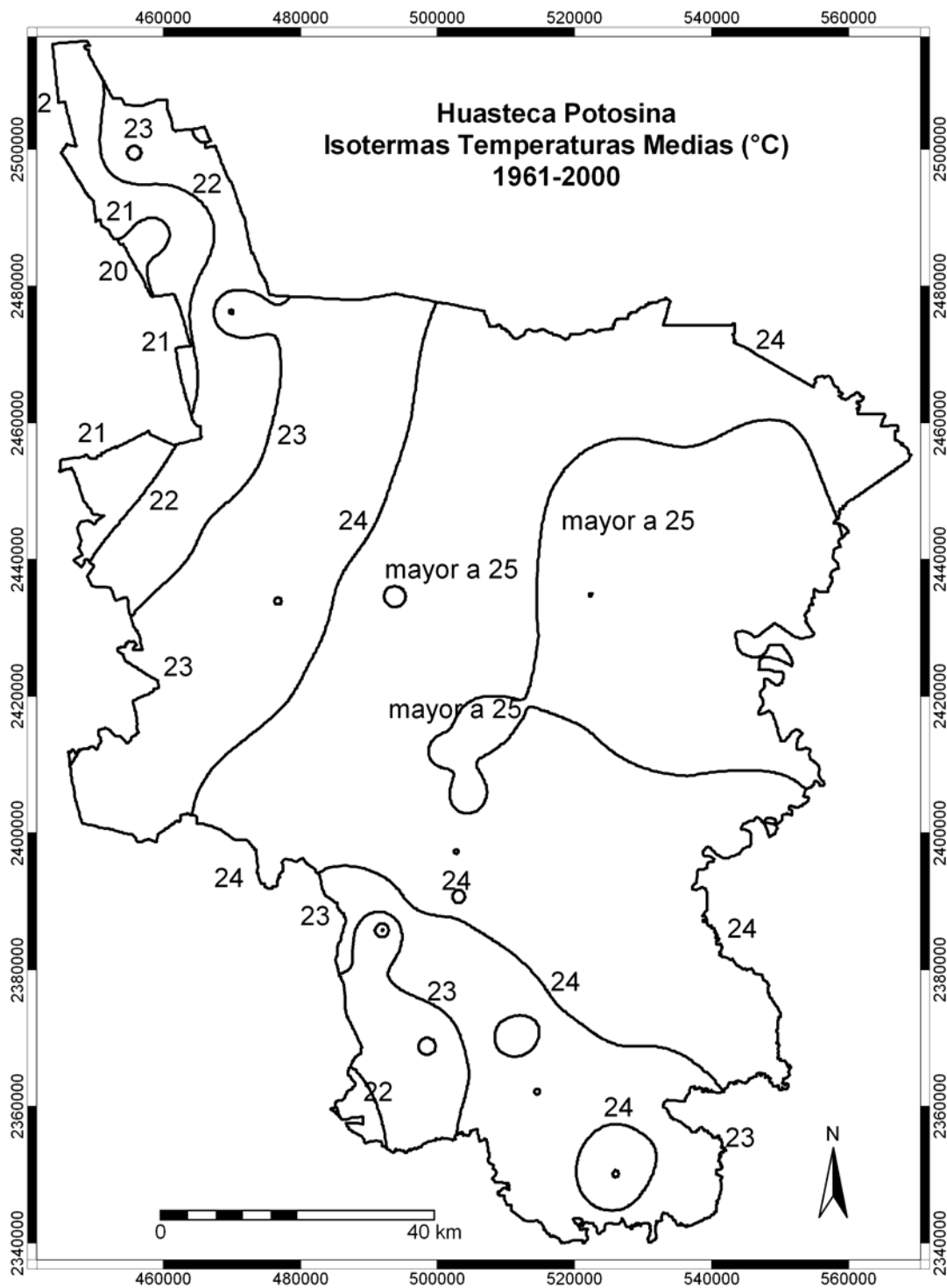


Figura 3.8 Isothermas de temperaturas medias para la Huasteca Potosina. Elaboración propia basada en la base de datos Eric III.

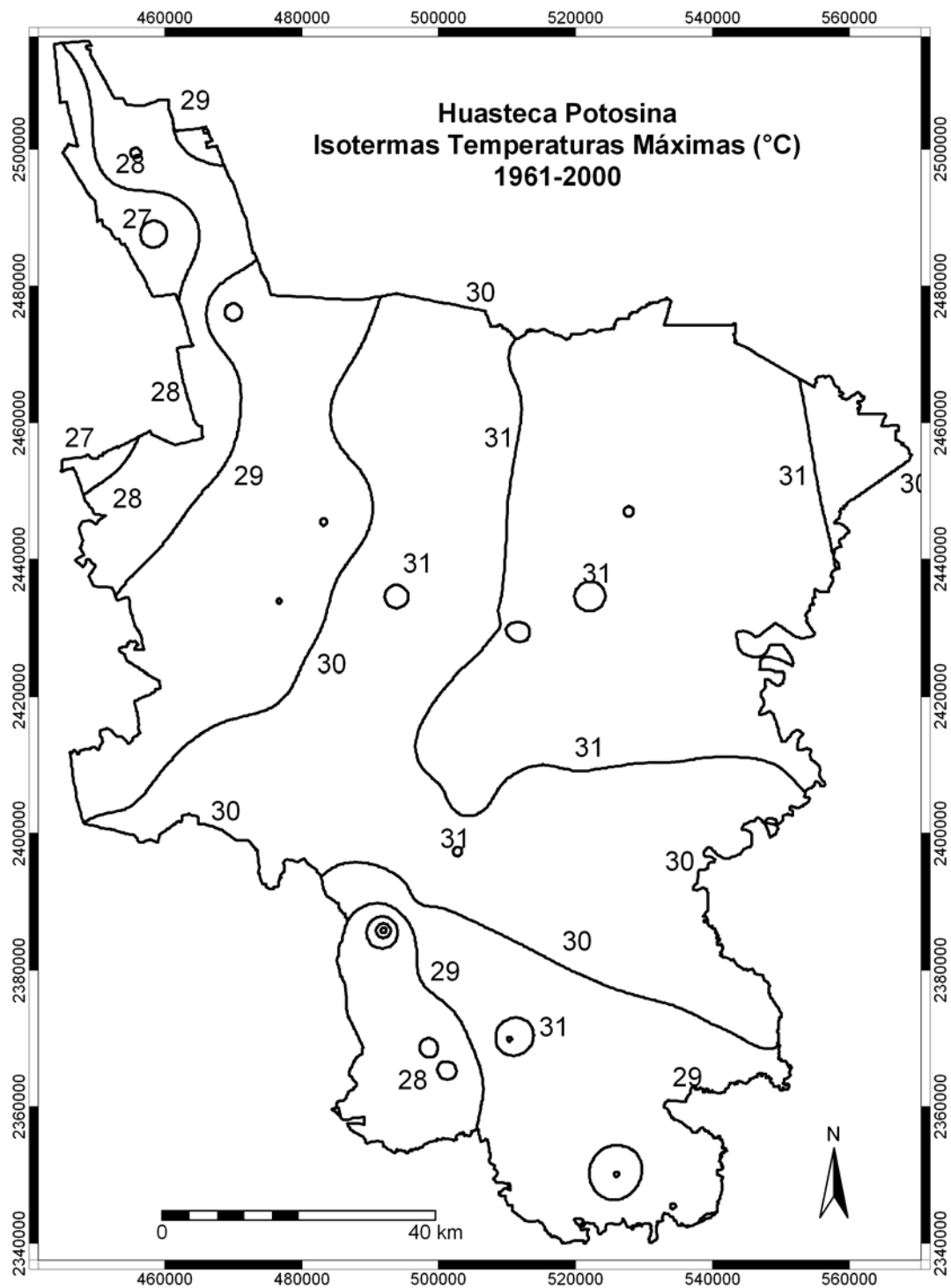


Figura 3.9 Isothermas de temperaturas máximas para la Huasteca Potosina. Elaboración propia basada en la base de datos Eric III.

Una vez desarrollados los conceptos básicos de meteorología y de ser representados cartográficamente, se procede a identificar el tipo de clima por medio de la clasificación climática de Köppen modificada por García y se realiza un análisis del cambio de clasificación climático histórico.

3.3. Análisis de la clasificación climática de Köppen modificada por García

El código *ClasificacionClimatica* (Algara-Siller, 2008), realiza operaciones para identificar el tipo general de clima y de los dos primeros subtipos. Esta clasificación se utiliza para validar los años de sequía obtenidos con el índice de severidad de la sequía y la moda estadística ajustada a la función *gamma* incompleta. Un año con presencia de sequía, según los indicadores, será reflejado con un clima de tipo más seco que lo normal.

En la tabla A.3 (Anexo 1) se muestran las estaciones con cambios de tipo de clima en los 3 períodos de estudio. Se pretende encontrar tendencias de cambio de clasificación climática que se hayan presentado por décadas y que de repetirse podrían llevar a un proceso de desertificación. Por ejemplo, en la estación 24064, en San Dieguito, Ciudad Valles, las condiciones normales del primero período de tiempo analizado correspondería a un clima templado, cambiando en el segundo período a un clima tendiente a cálido o semi-cálido. Para el tercer período de análisis, la misma estación muestra un clima seco con precipitaciones intermedias entre el más seco de los secos y el más húmedo de los secos. Este proceso de cambio de un clima templado a un clima seco podría comenzar un proceso de desertificación, ya que los climas de tipo *B* o secos, corresponde a lugares donde la evaporación excede a la precipitación.

La mayoría de las estaciones presentan tendencias de climas templados con tendencia semi-cálida a clima tropical o seco en el análisis de décadas más recientes. Estos cambios corresponden en su mayoría a temperaturas más

elevadas y menores precipitaciones. Sin embargo, pocas estaciones muestran cambios muy sutiles en sentido contrario y otras no muestran cambio alguno. Del total de las 65 estaciones de la Huasteca Potosina, 18 presentan cambios a tipos de clima de menor humedad, sólo 5 estaciones dan como resultado un aumento en la precipitación y el restante de las estaciones, 42, no presentan cambios significativos en el tipo de clima (Figura 3.10).

Del total de las 18 estaciones donde se registró una disminución en la humedad durante el período de estudio, 11 se encuentran distribuidas en la franja más cercana al Golfo de México, mientras las otras 7 estaciones se encuentran dispersas desde la Sierra Abra-Tanchipa en Ciudad Valles y la Sierra Madre Oriental en Tamasopo, sin sobrepasar el límite sur de El Naranjo.

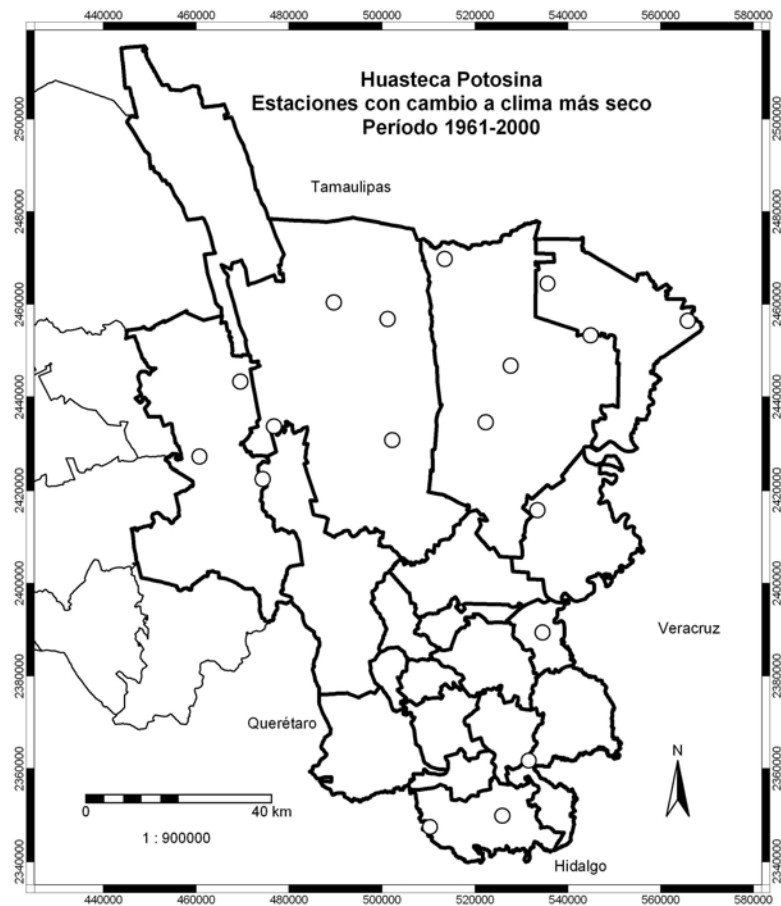


Figura 3.10 Localización de estaciones que disminuyeron su humedad según el tipo de clima para el período 1961-2000. Elaboración propia.

Una vez que se ha encontrado un comportamiento climático histórico a partir de la vegetación asociada a las condiciones de humedad y temperatura de la Huasteca Potosina, se procede a analizar la sequía según los métodos cuantitativos de la moda de precipitación ajustada a la función gamma incompleta y el índice de severidad de la sequía.

3.4. Análisis de la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta

El análisis de la moda estadística ajustada a la función *gamma* incompleta ofrece resultados que resaltan el aumento en el número de estaciones que registraron precipitaciones menores al 25% de la moda de precipitación, que como ya se explicó en el capítulo 2, es la precipitación que más probabilidad tiene de presentarse, entre el 70% y 75%, comparado con el 50% de probabilidad de la moda ajustada (García et al., 1977).

En la figura 3.11 se aprecian los 6 años en que la precipitación fue menor al 25% de la moda ajustada y 9 años con una precipitación mayor al 25% de la moda ajustada. Los mismos datos se presentan en la figura 3.12 ahora en porcentaje de acuerdo a la moda ajustada. El año de 1995 fue el peor año de sequía con un déficit del 69.95% con respecto de la moda ajustada, mientras que sólo 2 años antes se presentó un exceso que ascendió hasta el 100.26%.

Ahora bien, se utilizaron 65 estaciones para graficar la frecuencia de sequía en la Huasteca Potosina ya que ésta se calcula con las estaciones que estuvieron por debajo del 25% de la moda ajustada para cada año, es decir, como la gráfica no representa promedios no es necesario eliminar las estaciones que no cuenten con 25 años o más de registros.

Así las cosas, se estableció para cada período de análisis el número de estaciones en promedio que cayeron anualmente un 25% por debajo de la

precipitación correspondiente a esta moda ajustada (figura 3.13): para el período 1961-1973 se registró un promedio de 3.1 estaciones; para el período 1973-1985 el número de estaciones aumentó a 7.9; y para el período de 1985-2000 se ubicó en 7.5 estaciones. Se debe resaltar el año de 1982, el cual registró una frecuencia de 47 estaciones que registraron 25% menos precipitación que la moda ajustada. Esto explica la diferencia tan grande entre el primer período de tiempo estudiado y los otros dos. De cualquier manera, a partir de 1972 se puede apreciar un aumento significativo y constante en la frecuencia del déficit de precipitaciones. Si se elimina el año 1982 para evitar el brinco tan brusco en el promedio de las frecuencias, los resultados son: de la frecuencia de 3.1 estaciones del 1961-1973 se pasa a 4.6 para el período 1973-1985 y hasta 7.5 estaciones para el período 1985-2000, aumentos también importantes. Según la línea de tendencia, la frecuencia de sequía en la región aumentó 7.8 estaciones con sequía anual en sólo 40 años.

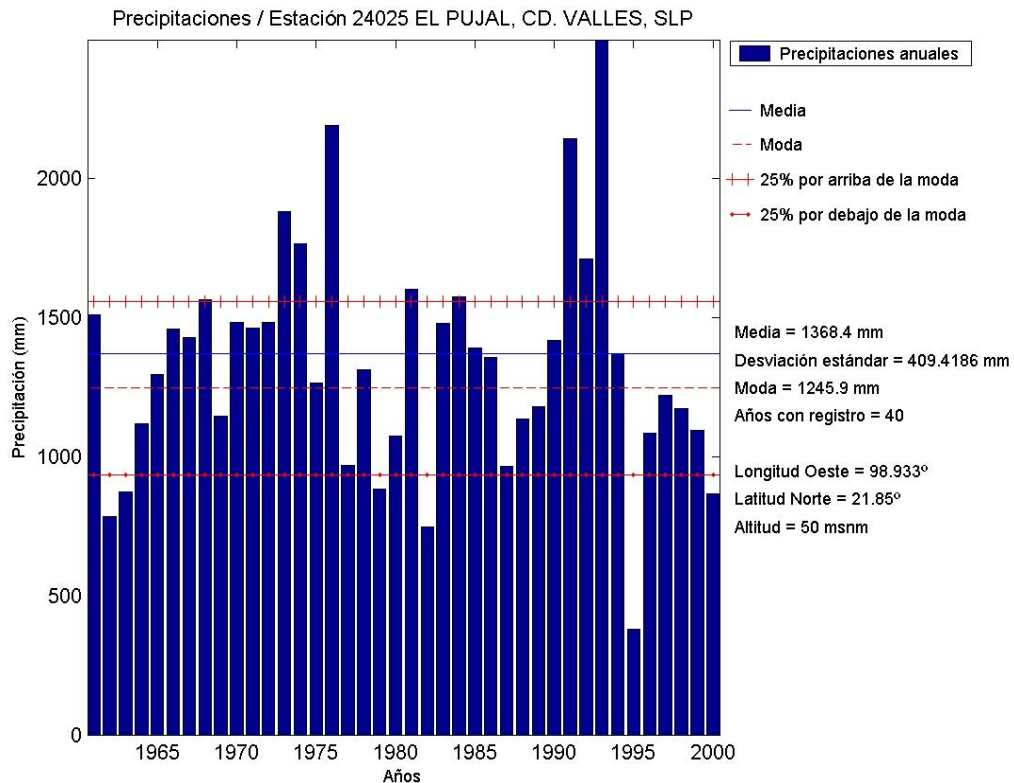


Figura 3.11 Precipitaciones anuales en la estación El Pujal, Ciudad Valles y la moda ajustada a la función *gamma* incompleta. Elaboración propia.

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA

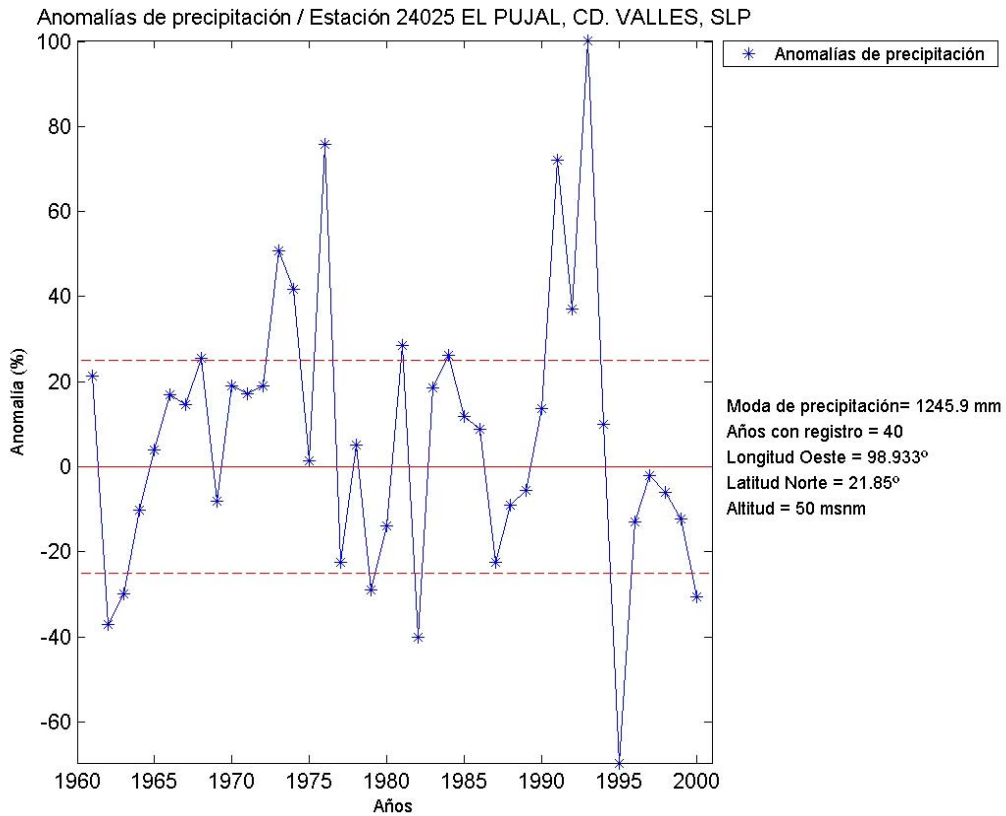


Figura 3.12 Anomalías de precipitación de acuerdo a la moda ajustada a la función *gamma* incompleta para la estación El Pujal, Ciudad Valles. Elaboración propia.

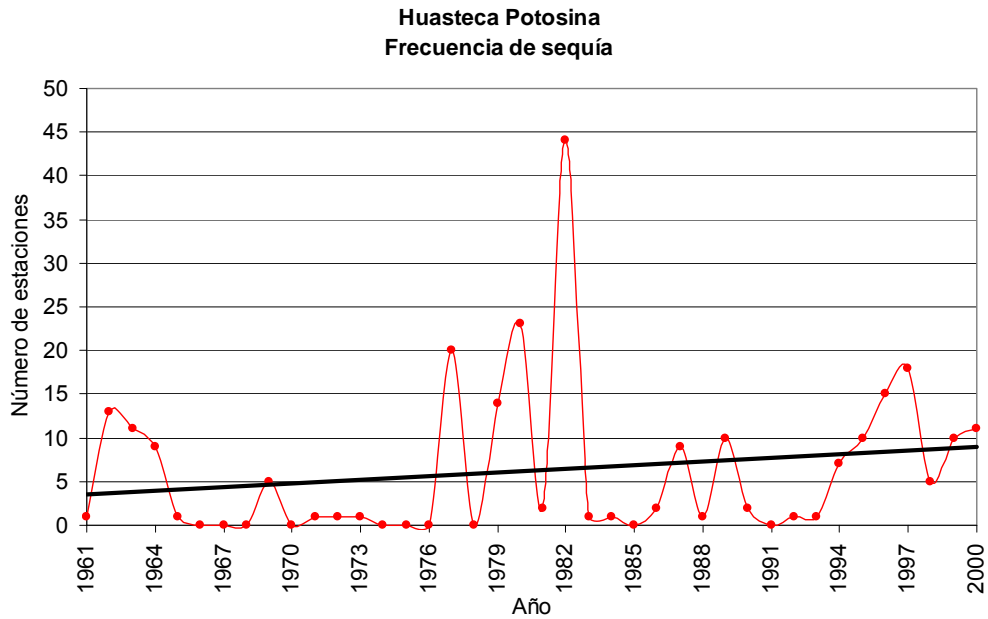


Figura 3.13 Número de estaciones con precipitación 25% por debajo de la moda ajustada a la función *gamma* incompleta. Elaboración propia.

A continuación se validan los resultados obtenidos por esta primera etapa de la metodología, mediante el cálculo del índice de severidad de la sequía.

3.5. Análisis del índice de severidad de la sequía

Como ya se mencionó, de acuerdo a las condiciones de datos faltantes, de las 124 estaciones originales, sólo 75 estaciones fueron utilizadas para este cálculo, de las cuales 46 corresponden a la Huasteca Potosina.

De los 6 niveles de sequía y su ausencia, se presentan consistentemente sequías muy fuertes y severas. Ocasionalmente se presentan sequías fuertes y muy severas que resultan de valores muy cercanos a su límite superior o inferior y que por diferencia de un centésimo pueden caer en un índice mayor o menor de los que le circundan.

La figura 3.14 es la representación cartográfica de este índice. Para el período 1961-1973 se registró un área de afectación de sequía fuerte de apenas 84 ha, una de sequía muy fuerte que abarca casi la totalidad de la zona de estudio con 1'106,189 ha, que representa el 98% del total del territorio de la Huasteca Potosina que asciende a 1'129,275 ha, y una zona de 23,000 ha con sequía severa.

En el período que sigue, 1973-1985, las afectaciones de sequía cambian considerablemente sumando ahora 3,063 has de sequía fuerte, reduciéndose la sequía muy fuerte a 910,668 ha (80.6% de la zona), dejando lugar a un aumento considerable de sequía severa con un total de 215,544 ha (19.1%). Esto significa que de la disminución de 195,521 ha de sequía muy fuerte, 192,544 ha aumentaron su intensidad a sequía severa y sólo 2,977 ha aumentaron su severidad a sequía fuerte.

Por su parte, el período 1985-2000 presenta casi la desaparición de la sequía fuerte hasta sumar 259 ha, encogiéndose la zona de sequía muy fuerte hasta las 426,717 ha (37.8%), aumentando el área de sequía severa hasta un total de

700,838 ha (62.1%) y apareciendo una pequeña región de 1,461 ha de sequía muy severa.

Para el último período de análisis no se presentan cambios tan dramáticos como en los primeros dos. Esto habla de una consistencia de condiciones normales con una gran área de sequía severa durante el total de los 27 años que abarcan los dos últimos períodos. Esta diferencia es significativa con las sequías muy fuertes que se presentan normalmente en los 12 años del primer período.

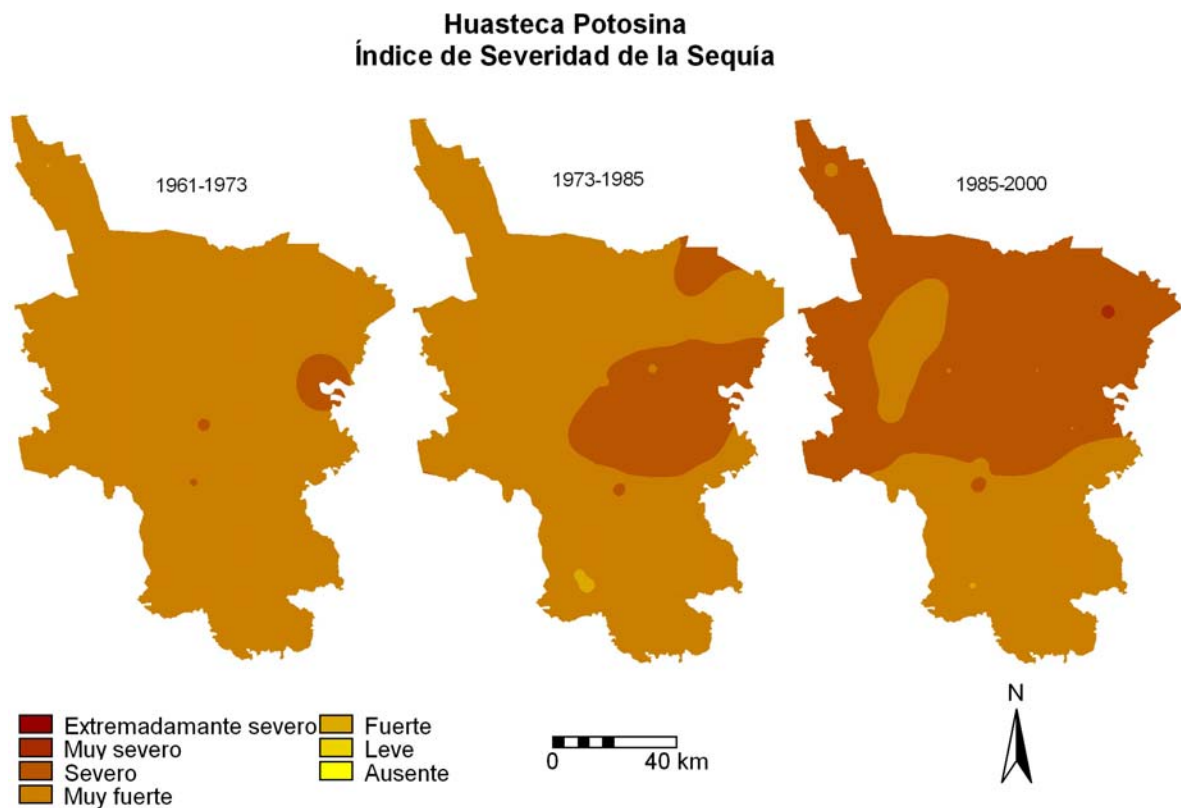


Figura 3.14 Índice de severidad de la sequía para los tres períodos de estudio: 1961-1973, 1973-1985 y 1985-2000. Elaboración propia.

Esta explicación queda respaldada con la figura 3.15 donde se grafica la severidad de la sequía para todo el período y se muestra de manera consistente que la sequía afecta en mayor grado la parte noreste de la región: Tamuín, Ébano, San Vicente Tancuayalab y Ciudad Valles.

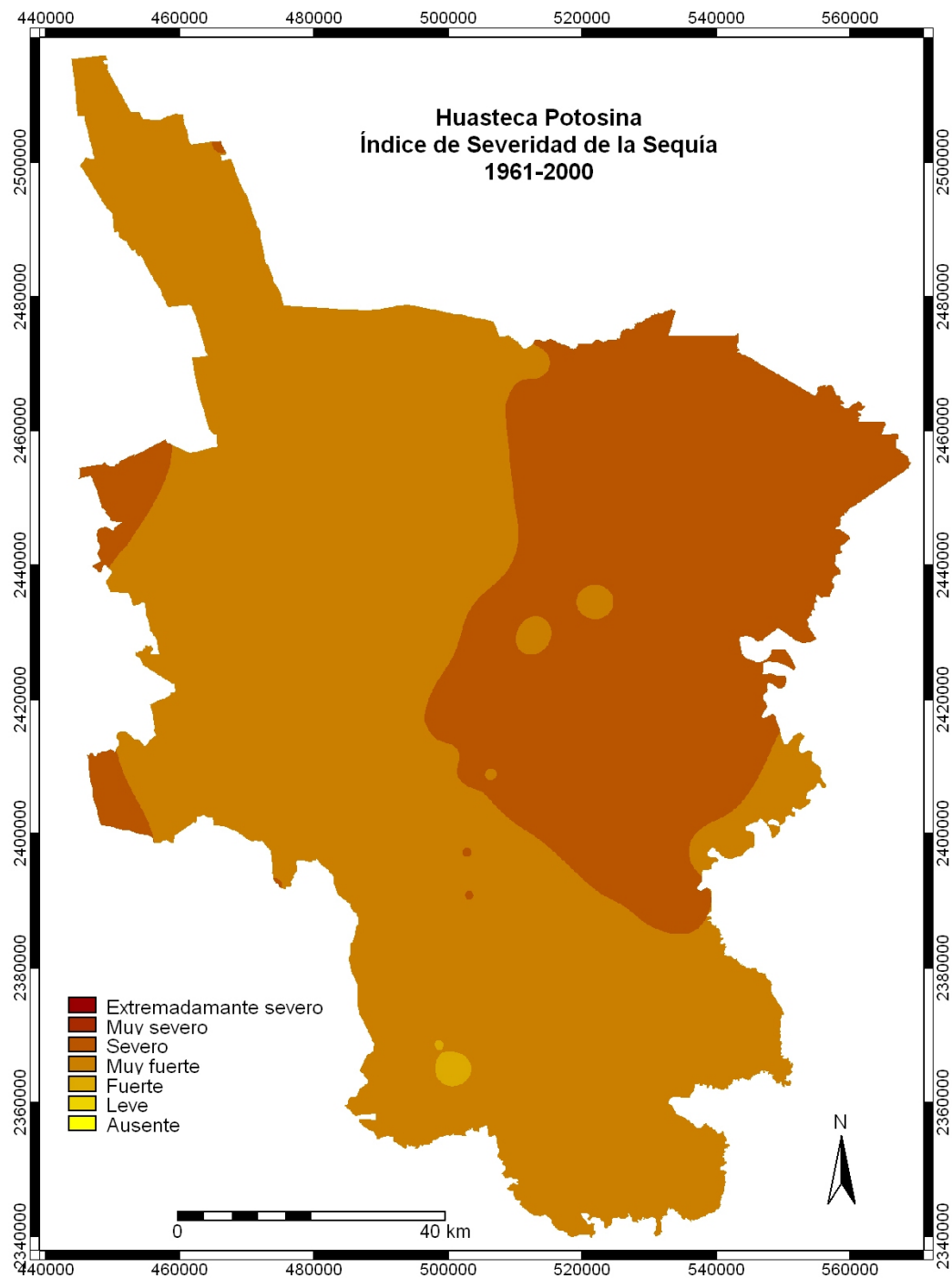


Figura 3.15 Índice de severidad de la sequía para el período completo de 1961 a 2000. Elaboración propia.

En esta etapa del análisis se demuestra el comportamiento de avance del índice de severidad de la sequía en la Huasteca Potosina (figura 3.16). Aunque

existen picos en la gráfica, correspondientes a los años de las peores sequías registradas, la tendencia es hacia una severidad de la sequía cada vez más fuerte. Además, la cartografía de la sequía realizada muestra un avance en dirección noreste-suroeste en el incremento de la severidad de la sequía.

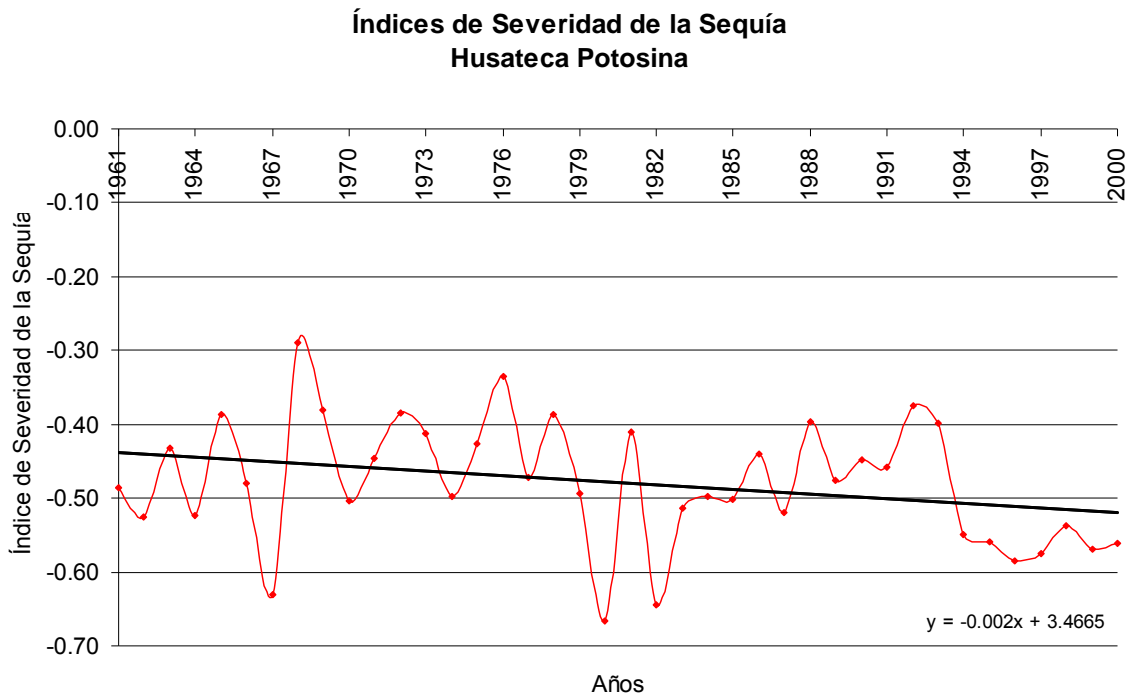


Figura 3.16 Sequía media anual graficada con las 46 estaciones de la Huasteca Potosina con 25 años o más con registros. Se muestra la línea de tendencia de los índices. Elaboración propia.

Se aprecia claramente que la línea de tendencia de la figura 3.16 concuerda con las tendencias arrojadas por la moda ajustada a la función *gamma* incompleta anteriormente calculada (figura 3.13), aumentando el número de estaciones que experimentan eventos de sequía cada vez más intensos.

3.6. Análisis de la presencia de El Niño Oscilación Austral y la sequía

Las tablas de datos recogidas de los diversos autores o entidades que han medido estos fenómenos se encuentran en el Anexo 1. Algunos registros muestran el mes de inicio y fin de cada uno de los fenómenos (tres bases de datos) y otros solamente el año (2 bases de datos). En cualquier caso, los registros entre bases de datos no coinciden del todo. Como los dos fenómenos se pueden presentar en un mismo año, o incluso, uno de ellos puede comenzar en un año y continuar hasta el siguiente, se decidió hacer una tabla desde el inicio hasta el fin de cada evento, por mes, utilizando los registros mensuales que coincidan en dos de las tres bases de datos mensuales. No hay que olvidar la falta de valores de intensidad de ambos fenómenos y la manera gradual de los aumentos o disminuciones de la temperatura del océano.

Los fenómenos de El Niño y La Niña se pueden presentar en un sólo año pero en mes diferente, como se muestra en la tabla 3.1, la cual es un resumen de la tabla A.4 del Anexo A con la cual se construyó la figura 3.17 que presenta la precipitación en la Huasteca Potosina y el fenómeno que predomina en cada año, El Niño o La Niña, ya sea en duración o en su presencia durante la temporada de lluvias de la región.

Tabla 3.1 Desglose mensual de los años donde El Niño y La Niña aparecen simultáneamente. Tabla preparada a partir de datos recopilados por Contreras en trabajo inédito a partir de Jorge Amador, Kevin E. Trenberth, Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú y del Centro de Predicción Climática de EEUU.

Años con empalme	El Niño	Duración	La Niña	Duración	Inicia	Diferencia aparición
1964	Jun 63 - Feb 64	9	May 64 - Ene 65	9	Niño	3
1965	May 65 - Jun 66	14	May 64 - Ene 65	9	Niña	3
1972	Abr 72 - Mar 73	12	Jul 70 - Ene 72	19	Niña	2
1973	Abr 72 - Mar 73	12	Jun 73 - Jun 74	13	Niño	2
1976	Ago 76 - Mar 77	8	Feb 75 - Abr 76	15	Niña	3
1988	Ago 86 - Feb 88	18	Jun 88 - Jun 89	13	Niño	3
1998	Abr 97 - Mar 98	12	Jun 98 - Jun 00	25	Niño	2

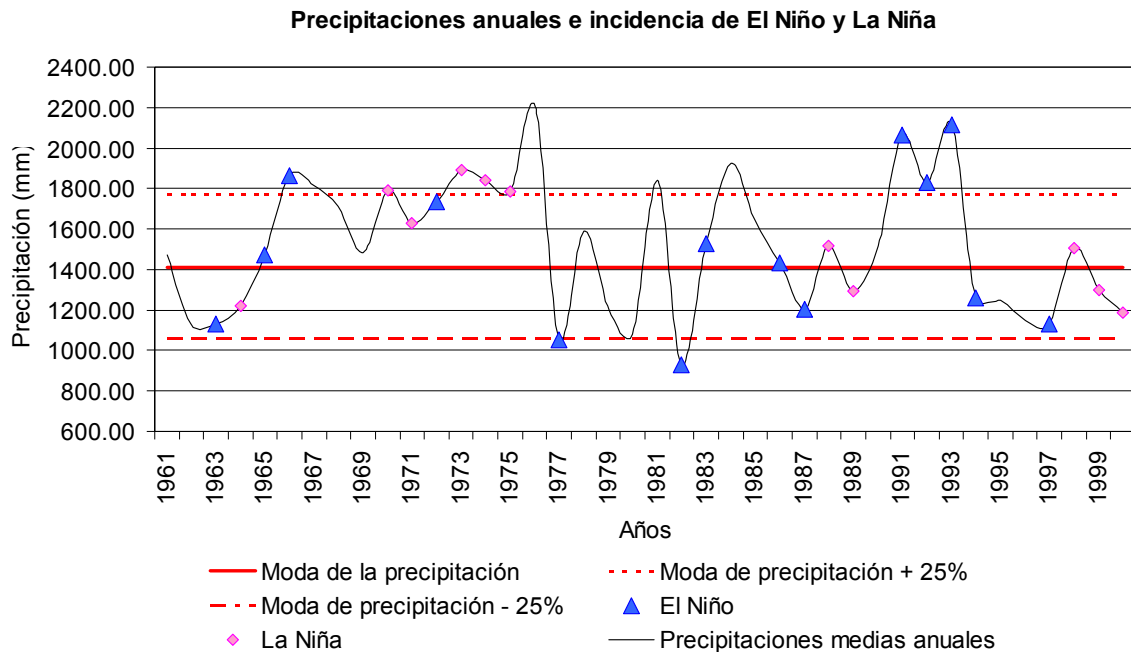


Figura 3.17 Incidencia de El Niño y La Niña comparada con la precipitación anual de la Huasteca Potosina, discriminando los años con empalmes o aparición del fenómeno fuera de la temporada de lluvias. Elaboración propia.

Deliberadamente se dejó fuera al año 1976 ya que presenta temperaturas propias de La Niña para los 4 meses y de El Niño para los últimos 5 meses, una vez entrada la época de lluvias. Se considera, pues, que en este año no predomina ninguno de los fenómenos, aunque se registró la lluvia más alta del período.

El comportamiento de los años 1966 y 1972, aún con la prevalencia de El Niño, se pueden explicar debido a sus años precedentes y a las intensidades de los fenómenos. En el año de 1966, El Niño se presentó durante la primera mitad del año solamente y venía desde 1965. En este caso, puede ser que el fenómeno fue disminuyendo su intensidad hasta el mínimo en 1966. Por otro lado, el año de 1972 muestra también El Niño cerca del límite del nivel de la moda ajustada a la función *gamma* incompleta positivo, pero durante 1971 y hasta principios de 1972 se tuvo la presencia de La Niña.

Ahora, estudiando los años de 1991 a 1993, encontramos la presencia de El Niño con precipitaciones muy altas, 25% por arriba de la moda ajustada. Además, haciendo un análisis por estación para estos años, consistentemente se registraron exceso de lluvias, sin importar altitud o cercanía al mar. Estos tres años se explican con la incidencia de ciclones que impactaron la región de la Huasteca Potosina (tabla 3.2).

Según los datos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), se presentó un ciclón en el año de 1991 en la localidad de Saca Agua, Tamaulipas, arrojando un total de 104 mm de precipitación durante 3 días, para sumar en ese año 2072 mm de precipitación total, que corresponde al 17% por encima del límite superior de la MPA. Aunque no se reportan ciclones en el área para el año de 1992, los ciclones y sus efectos en la circulación atmosférica de los años anteriores y de 1993, provocaron este efecto de exceso de precipitación. La precipitación registrada en 1992, 1837 mm, corresponde a un exceso en 3.9% de la línea del 25% por arriba de la MPA. Finalmente, para el año de 1993, nuevamente Tantzabaca reporta el punto de impacto de un ciclón que duró 8 días y que precipitó un total de 427 mm, es decir, el 24% de lluvia extra comparando el total de 2197 mm con la moda de 1766 mm para ese año.

Tabla 3.2 Ciclones que han impactado en el estado de San Luis Potosí en el período de 1981-2001. Tabla preparada por Contreras en trabajo inédito.

Año	Océano	Nombre	Categoría	Periodo	Vientos km/h	Lluvia máxima en 24 hr (mm); localidad afectada
2000	Atlántico	Keith	H1	3-5 Oct	140	366; Sabinas, Tamps.
1999	Atlántico	DT2	DT	2-3 Jul	55	317; Tantzabaca, SLP
1996	Atlántico	Dolly	H1	19-24 Ago	130	328; Micos, SLP
1995	Atlántico	DT 6	DT	5-7 Ago	55	259; Victoria, Tamps.
1995	Atlántico	Gabrielle	TT	9-12 Ago	110	133; La Boca, NL
1994	Atlántico	DT 5	DT	29-31 Ago	55	195; P. Sn Lorenzo, Tamps.
1993	Atlántico	Gert	H1	14-21 Sep	150	427; Tantzabaca, SLP
1991	Atlántico	DT 2	DT	5-7 Jul	55	104; P. Saca Agua, Tamps.
1990	Atlántico	Diana	H1	4-8 Ago	140	400; Tantzabaca, SLP
1989	Pacífico	Cosme	H1	18-23 Jun	120	

Año	Océano	Nombre	Categoría	Periodo	Vientos km/h	Lluvia máxima en 24 hr (mm); localidad afectada
TT=Tormenta tropical; DT= Depresión Tropical; PT= Perturbación Tropical; H1, H2, H3, H4 y H5 son categorías de la escala Saffir-Simpson , donde H1 corresponde a los huracanes que ocasionan menor daño, mismo que aumenta hasta llegar a H5.						
<i>Fuente:</i> Sistema Meteorológico Nacional, México, 2002.						
<i>Cuadro construido por:</i> Dr. Carlos Contreras Servín						

Aunque el análisis detallado para identificar las condiciones específicas en que El Niño que provoca ciclones en la costa este del país queda fuera de este estudio, los años con El Niño que coinciden con una baja precipitación, obviamente sin presencia de ciclones, se logran relacionar muy bien con el resto de los análisis anteriormente estudiados.

Se puede tomar como ejemplo 1982, año que registró la menor precipitación del período completo 1961-2000 y que coincide con un fenómeno de El Niño que comenzó en abril de ese año y se extendió durante 16 meses hasta julio de 1983. Se hace notar que las temperaturas mínimas, medias y diarias que se registraron en 1982 en la región fueron hasta un 2% por arriba de la normal. En el caso de las temperaturas medias se registró incremento de 0.44 °C por arriba de la media de todo el período, la cual es considerable ya que la línea de tendencia de la figura 3.5 muestra un aumento de 0.72 °C en 40 años, es decir, alcanzó el 61% de la tendencia.

Ahora, en cuanto al tipo de clima que correspondería a las características meteorológicas ocurridas en 1982, se encuentra que de las 43 estaciones de la Huasteca Potosina, que contaron con registros suficientes para clasificares, 18 se clasificarían como de tipo de clima *B*, seco estepario. Este dato se complementa con las 44 estaciones que registraron precipitaciones menores al 25% de la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta para el mismo año (Figura 3.13). Se verifica también una tendencia positiva en el aumento de estaciones que registran este déficit.

Para reforzar la correlación con la presencia de El Niño en la Huasteca Potosina, se recurre al índice de severidad de la sequía, el cual registró una media de -0.64, muy severo, para la región, además de comprobar que la tendencia es hacia índices de sequía cada vez más severos (Figura 3.16).

Se concluye que la presencia del fenómeno de El Niño tiene el efecto de alterar los patrones de circulación atmosférica disminuyendo la cantidad de lluvia en la Huasteca Potosina. La detección temprana de El Niño, su correcta medición en las costas de Perú y la difusión de dichas mediciones, son muy importantes para la preparación de la región ante el fenómeno de la sequía. Esta correlación será la base de un análisis futuro necesario para robustecer los resultados.

3.7. Tendencias de uso de suelo y análisis de los impactos históricos de la sequía

A continuación se realiza el análisis histórico de la severidad de la sequía y su incidencia sobre los usos de suelo según las cartas de uso de suelo para los años 1973, 1985 y 2000. Como se dijo anteriormente, los períodos de análisis son 1961-1973, 1973-1985 y 1985-2000.

Es evidente el cambio ocurrido al comparar las tres cartas de uso de suelo. En la figura 3.18 se observa una disminución en números cerrados de 140 mil ha en la cobertura de selva (31% de pérdida), y 36 mil has correspondiente a bosques (31% de pérdida), entre los años 1973 y 2000. Por otro lado las actividades agropecuarias registraron aumentos en su cobertura: 29 mil ha en agricultura de riego (86% de aumento), 63 mil ha en agricultura de temporal (28% de aumento) y 49 mil ha para uso de pastizal (19% de aumento). Las zonas urbanas, a su vez, registraron un drástico aumento, de 341 ha en 1973 hasta 7,049 ha en el año 2000, casi 21 veces más en tan solo 27 años.

Estos cambios en la superficie de uso de suelo en actividades productivas se confirman con el aumento en la población. Se incluyen datos de censos de

población desde 1950 para visualizar un ritmo de población constante hasta 1995, seguido de un ligero estancamiento hasta el 2000, pasando por último a una tendencia en ascenso según el último censo del año 2005 (figura 3.19).

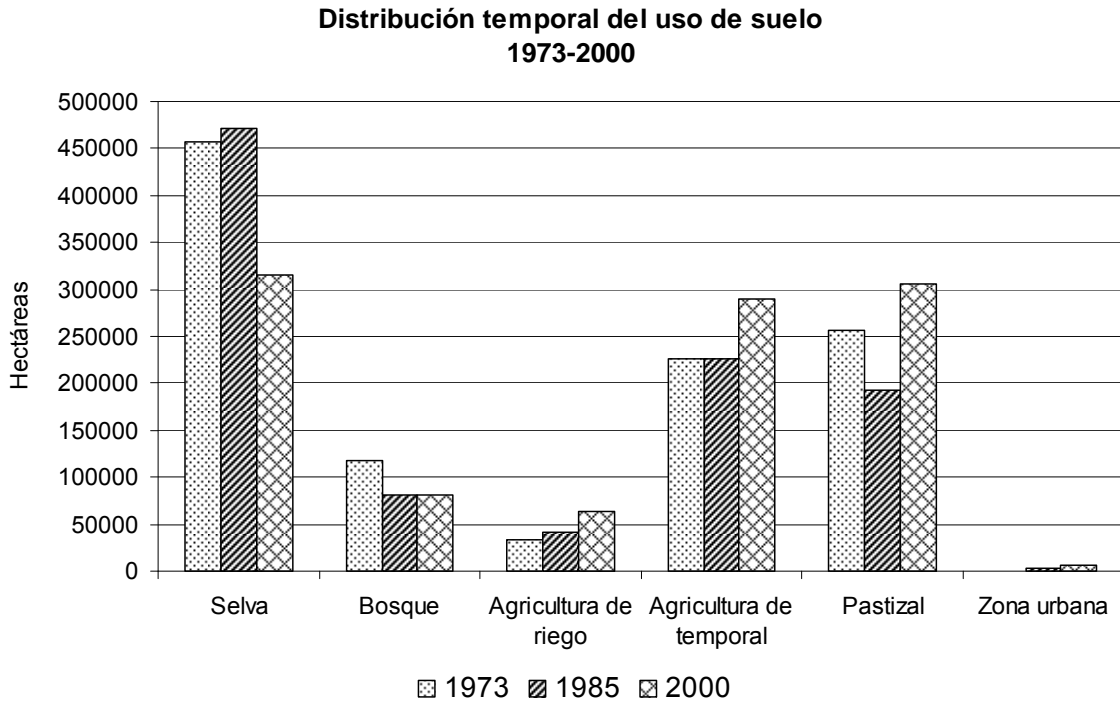


Figura 3.18 Distribución temporal del uso de suelo. Elaboración propia.

No solamente los cambios de uso de suelo son tan evidentes, además vislumbran una correlación entre la pérdida de cobertura vegetal y la sequía. Esto significa que se produce un efecto contraproducente al destino mismo del cambio de uso de suelo: entre más área es desmontada, más se afecta la retención de humedad, la evapotranspiración y los patrones meteorológicos propios del lugar, aumentando la sequía y por consiguiente el problema para mantener esas actividades para las cuales se desmontó.

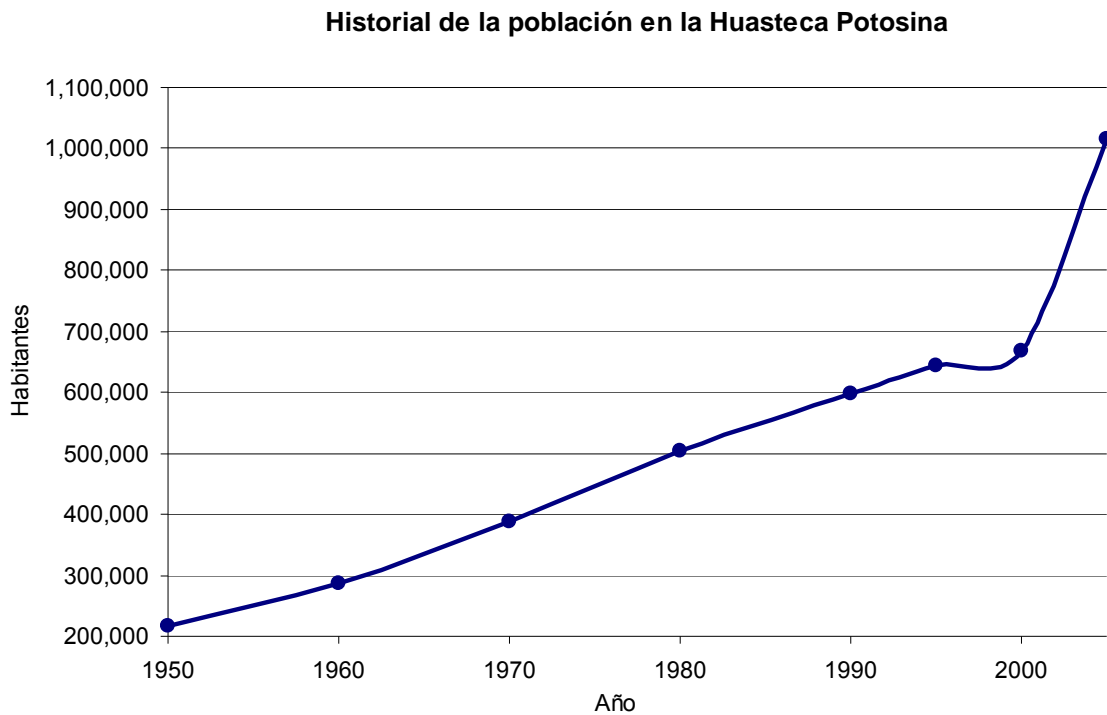


Figura 3.19 Historial del crecimiento de la población en la Huasteca Potosina. Gráfica elaborada con datos de: Secretaría de Economía, 1952; Secretaría de Industria y Comercio, 1963 y 1973; INEGI, 1995 y 2000.

En el caso de la agricultura de riego, la sequía severa aumentó 11.7 veces su área de incidencia original y la sequía muy severa apareció, cubriendo un total de 1,641 ha (figura 3.20). Para la agricultura de temporal los efectos fueron similares con un avance de 28 veces el área con severidad de sequía severa y la aparición de 628 ha con sequía muy severa (figura 3.21).

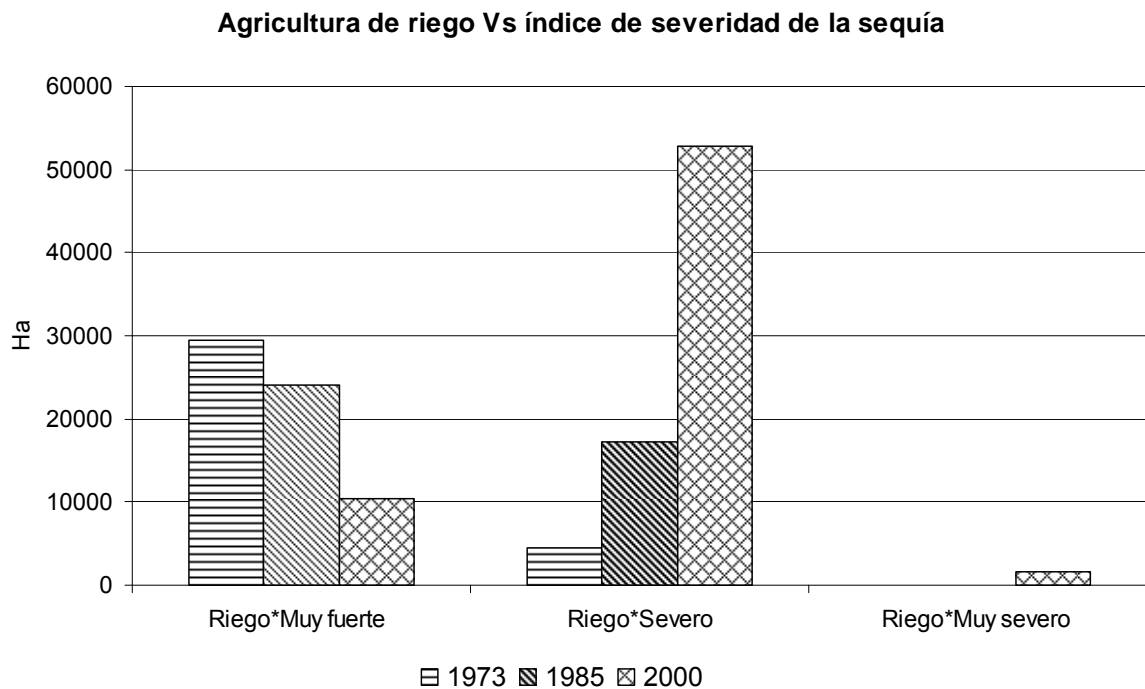


Figura 3.20 Agricultura de riego y severidad de la sequía. Elaboración propia.

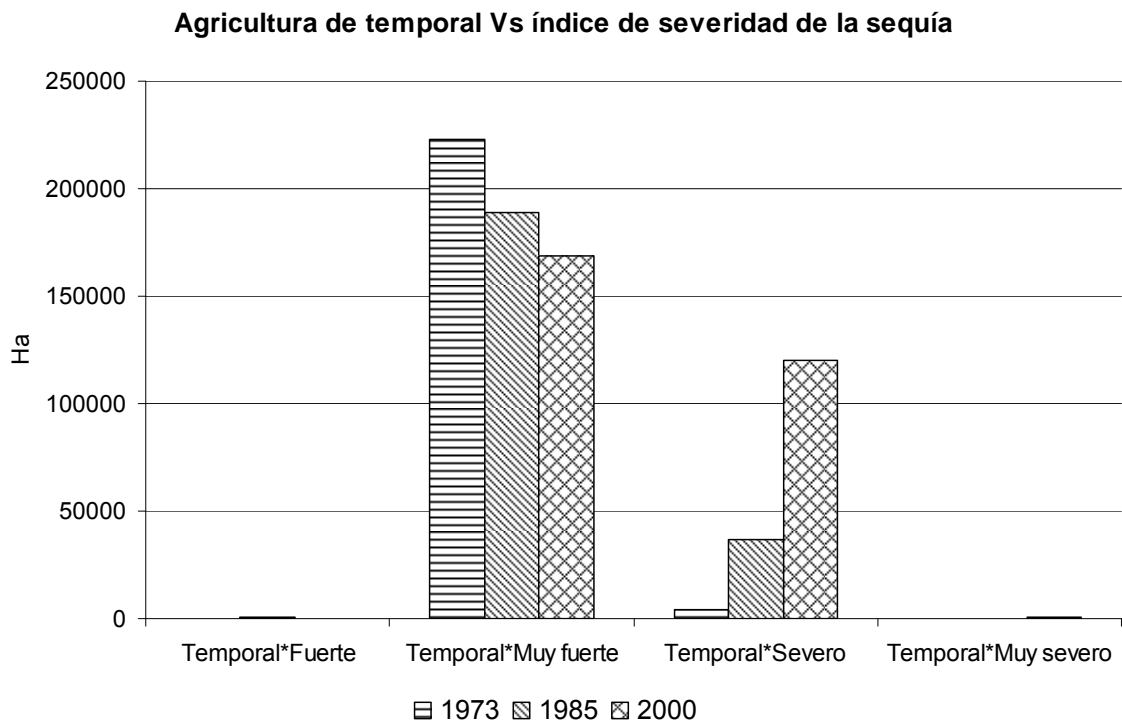


Figura 3.21 Agricultura de temporal y severidad de la sequía. Elaboración propia.

En el caso de la superficie dedicada al pastizal se registró una disminución del área afectada por la sequía muy fuerte en un 48%. Esto se explica por los cambios ocasionados por el proyecto Pujal-Coy, el cual promovió la generalización de actividades agrícolas en la región. En 1973 había aproximadamente 42,900 ha de selva que serían desmontadas sólo para la primera fase del proyecto y para 1989 faltaban por desmontar 52,000 ha correspondientes a la fase 2 del proyecto (Aguilar-Robledo, 1995:20). Posteriormente, el área de pastizal tuvo un ligero repunte y la sequía severa que lo afecta aumentó a casi 30 veces hasta cubrir un área de 217 mil ha (figura 3.22).

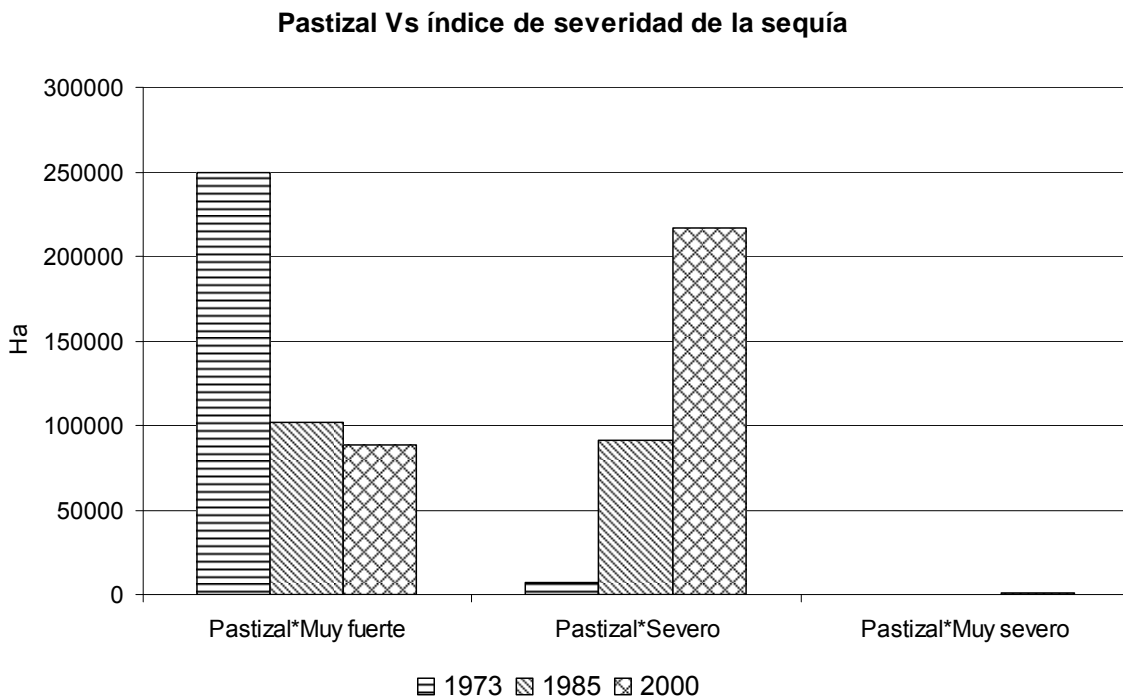


Figura 3.22 Pastizal y severidad de la sequía. Elaboración propia.

Lo que corresponde a las superficies de bosques y selvas (figuras 3.23 y 3.24), se redujeron las dos superficies en 36,095 ha y 140,904 ha, respectivamente, a lo largo de los 27 años representados en las cartas de uso de suelo. La superficie de bosques no solamente sufrió una disminución, si no que la sequía severa aumentó en casi 32 veces su área neta de afectación. En otras palabras, mientras que en el

año de 1973 la sequía severa normal cubría tan sólo el 1.70%, para el año 2000 esta afectación aumentó hasta el 76.3% del total de superficie cubierta por bosques para ese año.

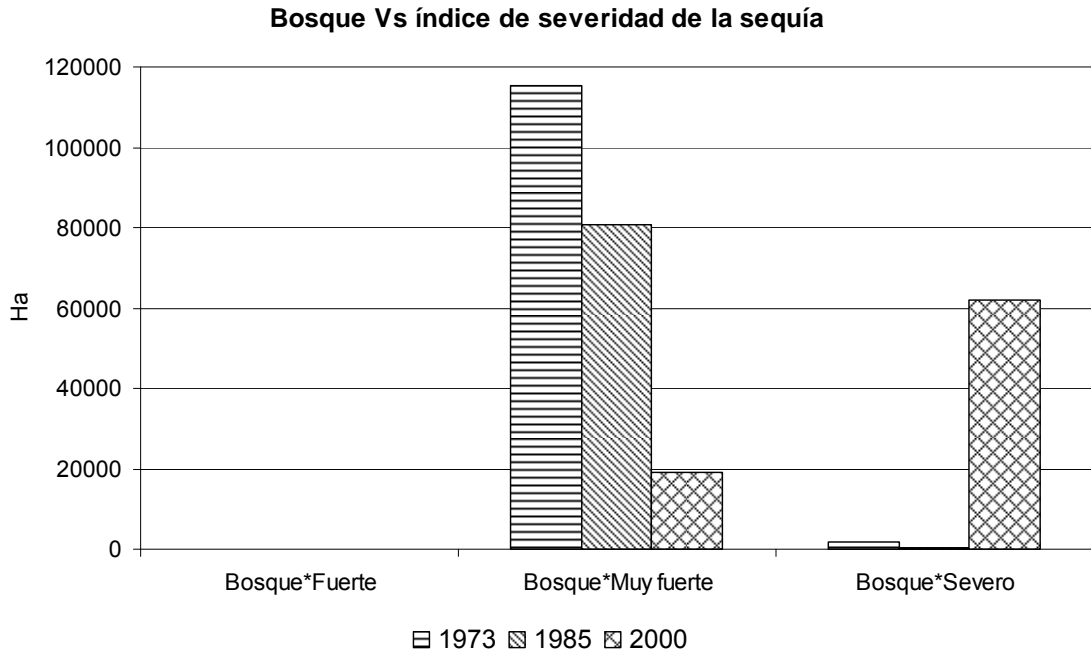


Figura 3.23 Superficie de bosque y su afectación de sequía. Elaboración propia.

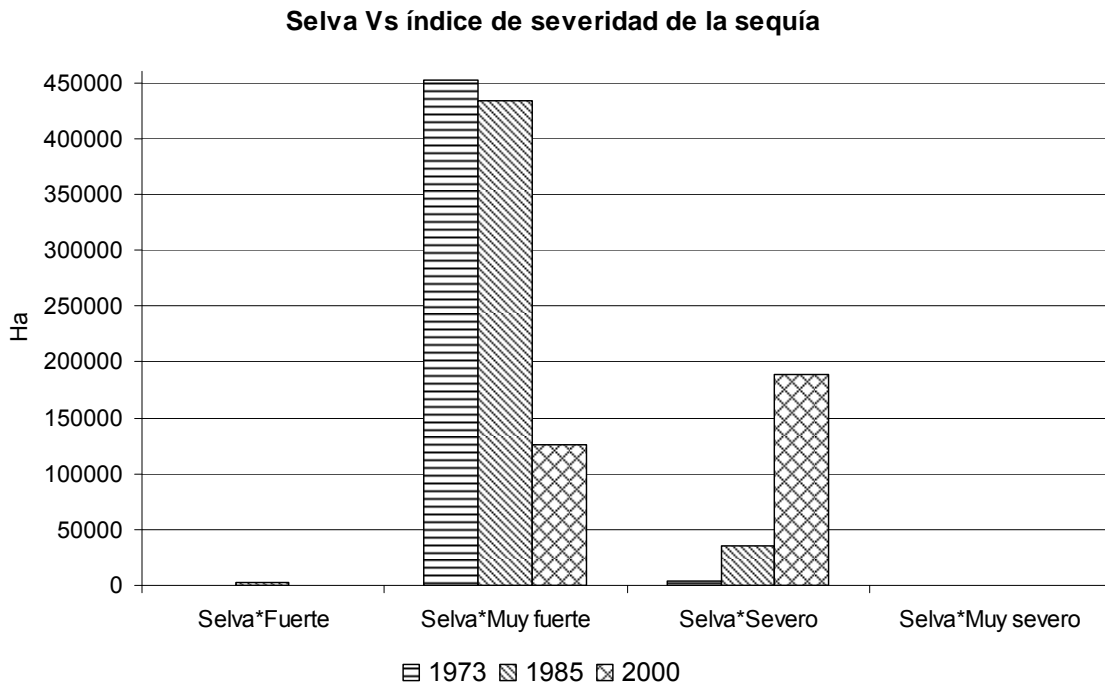


Figura 3.24 Superficie de selvas y su afectación de sequía. Elaboración propia.

Un caso muy similar sucede con la superficie de selvas, donde también se registró un aumento de la afectación de sequía severa, pasando de sólo el 0.81% de afectación en 1973 al 60% en el año 2000.

Ahora, se analizan las áreas de uso urbano y de suelo desnudo comparadas con la severidad de la sequía (figuras 3.25 y 3.26, respectivamente). Aunque el crecimiento de estas zonas es menos dramático en cuanto a áreas netas, el porcentaje de crecimiento ha sido más pronunciado. La zona urbana pasó de cubrir 341 ha en 1973 a 6,708 ha en el año 2000, casi 20 veces su tamaño original. Por su lado, el suelo desnudo llegó a cubrir 543 ha en el año 2000, es decir un aumento de casi 7 veces, comparada con las 81 ha de 1973. En cuanto a la superficie de afectación de la sequía, en el año 2000, la sequía severa llegó a cubrir 5,146 ha de las zonas urbanas y 407 ha de la superficie de suelo desnudo. En 1973 no se registró afectación con esta severidad.

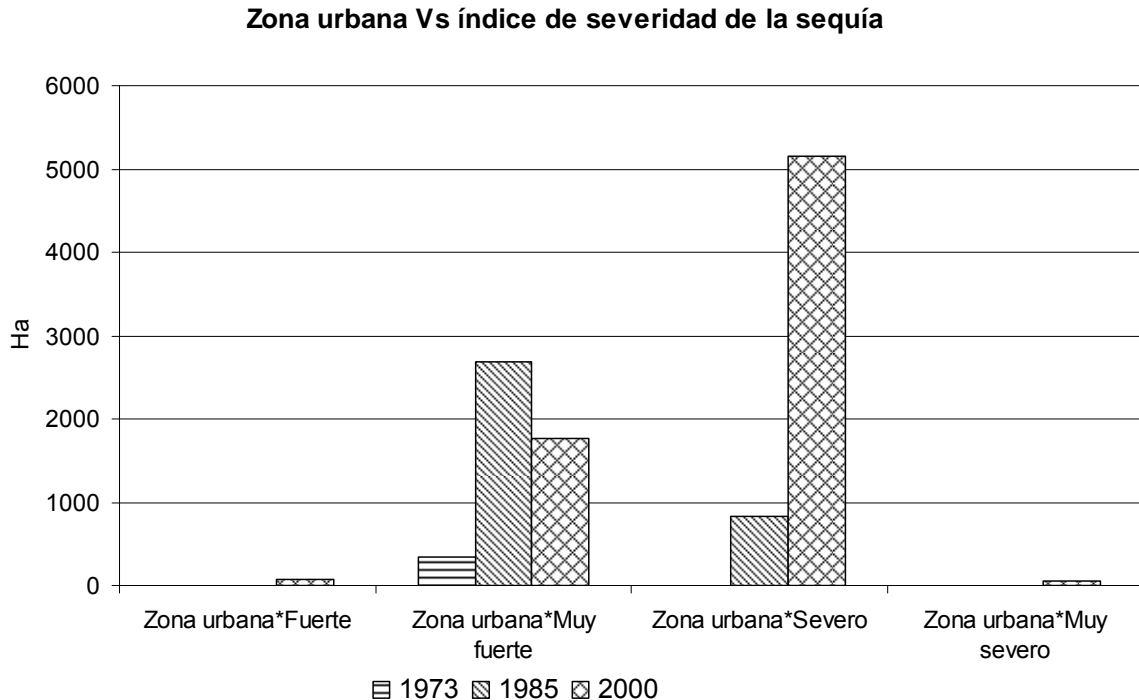


Figura 3.25 Superficie de zonas urbanas y su afectación de sequía. Elaboración propia.

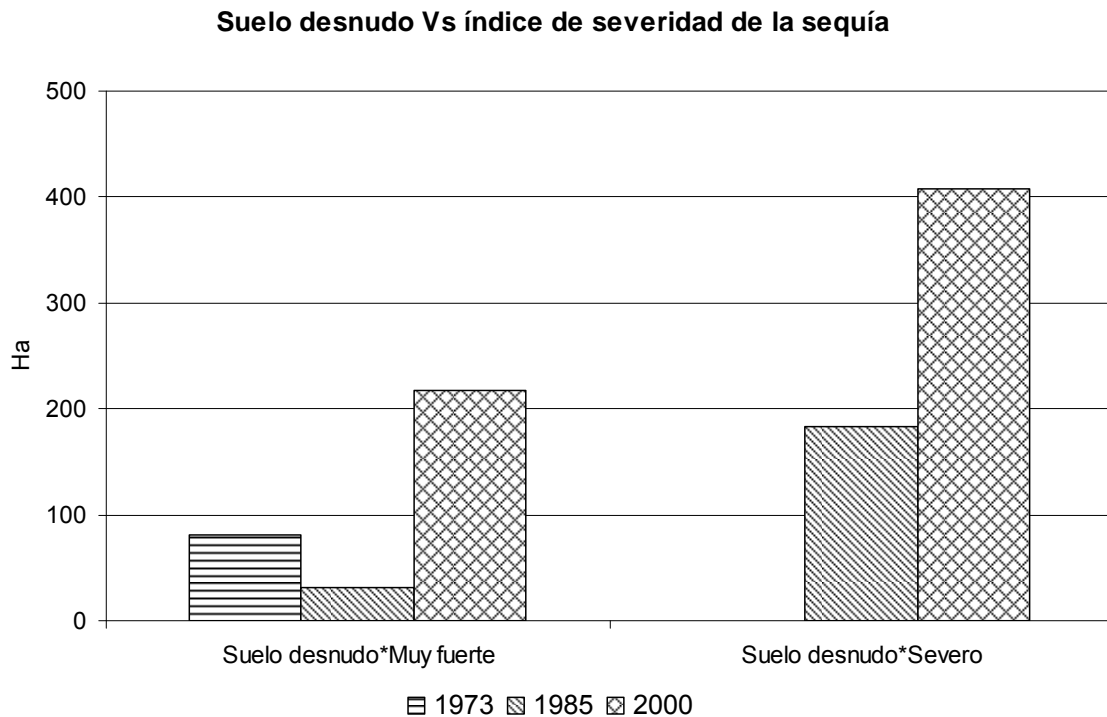


Figura 3.26 Superficie de suelo desnudo y su afectación de sequía. Elaboración propia.

Por último, utilizando los resultados del análisis de la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta, y las áreas de uso de suelo de las cartas disponibles, se obtiene la figura 3.27.

La frecuencia de sequía es la cantidad de estaciones que registraron un déficit de precipitación igual o por debajo del 25% de la moda ajustada. Aunque una vez más, el año con sequía extrema, 1982, muestra un comportamiento inusual, existe un patrón de aumento en la frecuencia de la sequía hacia los años más recientes que contrastan con la disminución de superficie cubierta por selvas y bosques.

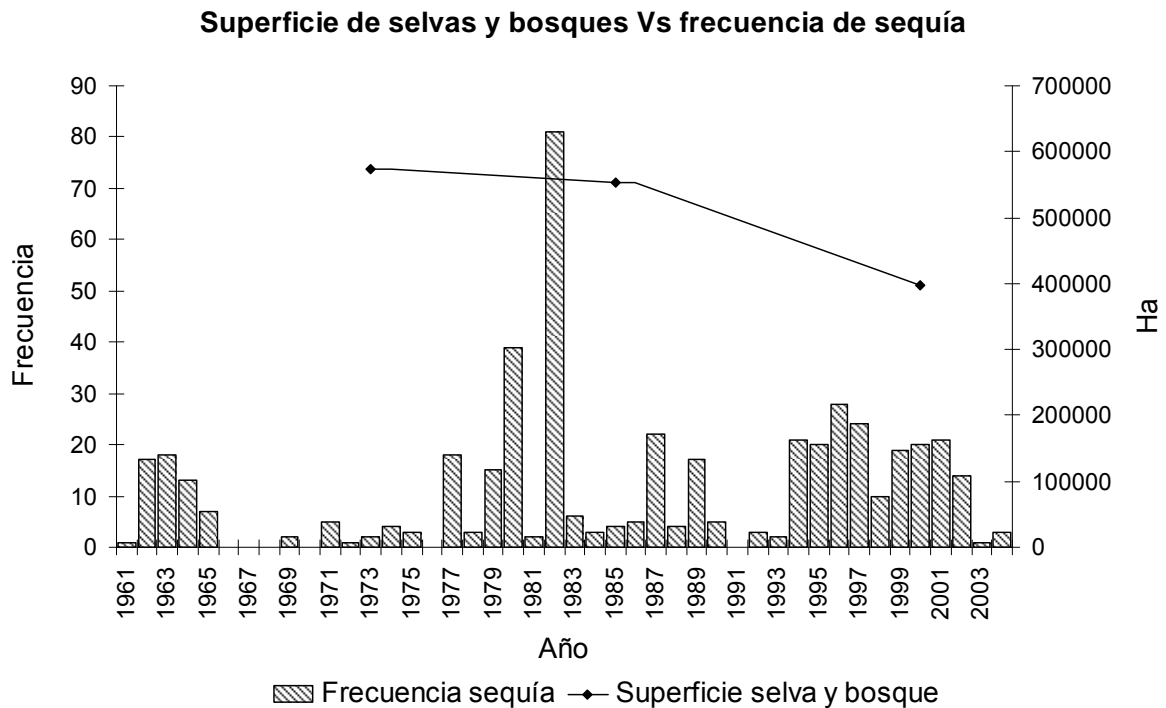


Figura 3.27 Frecuencia de la sequía y superficie de selvas y bosques. Elaboración propia.

El cambio de uso de suelo hacia una producción agropecuaria mayor involucra, además de la deforestación, un mayor impacto sobre los recursos hídricos, superficiales y subterráneos, y un proceso de degradación del suelo más acelerado.

4. PROPUESTA GENERAL PARA EL MANEJO DE LA SEQUÍA EN LA HUASTECA POTOSINA

Los desastres naturales se han presentado a lo largo de la historia de diversas maneras, ya sea con volcanes que destruyen aldeas completas, huracanes que arrasan con poblaciones costeras o, en el caso del presente estudio, sequías que provocan problemas económicos y de abasto de alimentos.

Para realizar una propuesta general de manejo de la sequía, es necesario ubicar la causalidad de los desastres. Se piensa a menudo que los desastres son producidos por grandes fuerzas naturales, quizá Poseidón producía grandes oleajes y huracanes, o Tláloc castigaba con grandes inundaciones o sequías. Fuera de lo religioso o lo sobrenatural, el desastre se asocia comúnmente a una gran fuerza natural que azota a la población causando daños en sus diferentes actividades socio-económicas. Como ni los dioses ni la naturaleza actúan por *motu proprio*, por lo menos de acuerdo a las pruebas científicas, su causalidad es más compleja y se deriva, más bien, de la relación *fenómeno natural peligroso-actividad humana*.

Por esta razón, Maskrey y Romero estiman que los desastres no son naturales (Maskrey y Romero, 1993), es decir, se llega al desastre cuando alguna fuente de recursos de una comunidad se ve disminuida o desaparece, o cuando su salud e integridad física se ven comprometidos a causa de un fenómeno natural peligroso o extremo.

De acuerdo a la base teórica sobre el manejo de los desastres expuesta en el capítulo 1 de este estudio, se partirá de la premisa de lograr construir o adecuar nuestros hábitats *ad hoc* a los eventos de sequía peligrosa. Al hablar de hábitats se entiende como el total de los elementos que necesita un sistema social para su correcto funcionamiento.

Como también se concluyó en el capítulo 1, con la definición de la causalidad de la sequía, y como se probó en el capítulo 3, con la evidencia del cambio de la

magnitud de la sequía en el tiempo, la Huasteca Potosina se desarrolla en un entorno natural y socio-económico con condiciones de sequía en aumento. El ritmo de adaptación de las comunidades a la sequía parece no ser suficientemente rápido o certero para lograr aminorar los estragos por su causa, agravado el problema por la creciente población.

Además, es necesario recordar la acción de los organismos de socorro, bomberos, Cruz Roja, Protección Civil e incluso el ejército, quienes han sido históricamente héroes al momento de lidiar con los desastres. Esto es cierto en el momento en que el fenómeno extremo está actuando y durante el período de recuperación. El desastre se ha manejado comúnmente mediante sistemas de logística y reaccionarios. Lo más importante ha sido el acceso rápido y eficaz a recursos humanos, maquinaria y equipo para salvaguarda de la población durante un evento desastroso (Wilches-Chaux, 1993:12; Wilhite et al., 2000:697).

El caso de la sequía no difiere mucho de la acción de rescatar vidas humanas durante cualquier otro tipo de desastre. La sequía se ha manejado por medio de recursos financieros disponibles cuando las cosechas se están perdiendo, de un regimiento de pipas del estado para distribuir agua a la población afectada, etc, es decir, acciones reactivas que no atacan las causas del desastre.

Las medidas de prevención constituyen la primera parte para delinear el manejo integral de la sequía. Sin embargo, es importante recordar que la historia ha demostrado que una población no responderá si las medidas de prevención no están encaminadas a satisfacer primero sus necesidades básicas (Wilches-Chaux, 1993:12). Si una comunidad se dedica a la agricultura, su respuesta con respecto a la necesidad de un cambio en sus sistemas de producción, llámese tipo de cultivo o métodos agrícolas, será muy débil si sus necesidades más básicas no han sido satisfechas. No importa que las pruebas científicas apunten a un cambio climático que propicie, por ejemplo, un proceso de desertificación. El pensar en invertir en maquinaria, equipo o en capacitarse para dar un giro a sus actividades, se aceptará con menor renuencia si se cuenta primero con vivienda, salud y servicios públicos básicos. Estos programas sociales, ampliamente justificados,

deberán hasta entonces ser acompañados de las medidas de prevención de desastre necesarias. Por su lado, las medidas de mitigación y el proceso de recuperación también se construyen a partir de esa infraestructura social básica.

Wilhite et al. (2000:697) coinciden con esta visión numerando la degradación ambiental, el retraso en el desarrollo y la seguridad alimentaria y nutricional, como las principales afectaciones de la sequía, pero sólo en países en vías de desarrollo. En cambio, en Estados Unidos, dicen los mismos autores, la preocupación es por los incendios derivados de la sequía, la afectación a las redes de agua potable, daños en agricultura y problemas de agua en la industria del turismo y actividades recreativas. Su propuesta gira alrededor de la protección y la recuperación, dejando un poco de lado la perspectiva social. Sin embargo, algunos de los pasos básicos en su propuesta se replican en este estudio ya que buscan la flexibilidad de la puesta en marcha en diferentes contextos, además que coinciden con los planteamientos del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), de nuestro país, los cuales conjuntan la perspectiva positivista y social, llamadas medidas de mitigación estructural y no estructural, respectivamente.

En cuanto a las medidas estructurales planteadas por el CENAPRED (2002:26), se proponen obras de ingeniería para el almacenamiento, extracción y distribución del agua a través de presas, tanques, redes de almacenamiento de agua, plantas de tratamiento de aguas residuales, pozos, canales y sistemas de irrigación, así como los sistemas separados de drenaje pluvial y residual (CENAPRED, 2002:26) los cuales ofrecen volúmenes considerables de agua de lluvia cuyo tratamiento es más sencillo y barato (Algara-Siller, 2000).

Por otro lado, las medidas no estructurales se catalogan en sociales, económicas y legales (CENAPRED, 2002:27) y pueden ser reactivas, preventivas o prospectivas. Además, el CENAPRED habla de tres medidas opcionales específicas: extracción de agua de lugares lejanos, la desalinización y la lluvia artificial. Son opcionales porque representan problemas, algunos infranqueables en la actualidad: costo del transporte de agua de sitios alejados y problemas de

propiedad del agua; alto costo de la tecnología de desalinización; y la dudable ciencia y escasos resultados detrás del uso de yoduro de plata para acelerar la condensación del vapor de agua (CENAPRED, 2002:28). Estas medidas alternativas quedan excluidas del presente estudio. Es importante mantener las medidas estructurales al mínimo, para evitar alteraciones importantes en las actividades productivas y en la vida diaria de la población.

De la misma manera, la restricción de la dotación de agua en tiempo de sequía, medida reactiva no estructural, no resuelve el problema en ningún giro industrial, solamente ayuda a no perder por completo las reservas y a mantener un flujo directo hacia las necesidades más básicas de la población. Por otro lado, las ayudas económicas a la industria agropecuaria solamente aminoran el impacto económico por las pérdidas, sin aportar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos y ganado, por poner un ejemplo.

Aunque un plan integral de manejo debe incluir los factores socio-económicos de la región y una propuesta de políticas públicas, este trabajo sienta las bases por medio de características generales que el plan deberá integrar y estudios detallados que deberán realizarse.

A continuación se realiza un análisis detallado de la región de estudio mediante la división en zonas con características similares, útil para la propuesta de manejo de la sequía.

4.1. El problema de la sequía en la Huasteca Potosina

Para la elaboración de la propuesta de manejo se presentan las propuestas generales y puntuales de manejo, acciones específicas según características propias por zona de la región de estudio. Se decidió dividir la región en cuatro zonas: noroeste, noreste, centro y sur. De esta manera se integran municipios con características geográficas (longitud oeste, latitud norte y altitud) y de actividades productivas similares. Las actividades agropecuarias se utilizaron como las

características comunes en cada zona ya que están íntimamente vinculadas a las características de tipo de clima y, por tanto, de vegetación. Además de la afinidad de las actividades agropecuarias, se detallan las características de tipo de suelo y los actuales usos de suelo.

La propuesta general de manejo de la sequía se complementa mediante los índices de marginación para cada zona ya que incluyen información sobre analfabetismo, escolaridad, servicios de agua entubada y drenaje, hacinamiento, ingreso, número de habitantes por localidad y el tipo de piso en cada vivienda. La estimación del índice de marginación por el Consejo Nacional de Población del año 2000 (CONAPO, 2001) se divide en 5 categorías ponderadas entre todos los municipios de México: muy bajo con índices entre -2.44852 y -1.28088; bajo con un rango de -1.28088 a -0.69707; medio para los límites de -0.69707 y -0.11325; alto para el intervalo entre 0.11325 y 1.05438; y finalmente el índice de marginación muy alto para los municipios con valores de 1.05438 a 3.38964.

Con este nivel de detalle se identifican las prioridades del plan de manejo por zona. A continuación se numeran las particularidades de cada zona propuesta.

La zona noroeste, con una extensión total de 460,341 ha, comprende 3 municipios: Ciudad Valles, El Naranjo (Foto 4.1) y Tamasopo, los cuales comparten características de relieve similares de la Sierra Madre Oriental y la Sierra del Abra-Tanchipa. La zona noroeste registra temperaturas medias de los 20°C, en las zonas más altas de la Sierra Madre Oriental, a los 24°C, con registros aislados de más de 25°C en Ciudad Valles y precipitaciones que oscilan de los 1300 mm a los 1500 mm anuales desde la parte más oriental hacia la más occidental y elevada, respectivamente.

La producción más importante de caña de azúcar en la Huasteca Potosina se encuentra en esta zona con una extensión de 47,020 ha (SAGARPA, 2004), cuyo estrato son suelos del tipo rendzina en gran parte de Ciudad Valles y litosol en el resto, entre otros suelos con menor participación. La caña de azúcar tiene la cualidad de absorber nitrógeno atmosférico, lo cual reduce su necesidad de abono o fertilizante, aunque necesita de agua abundante para su buen desarrollo que,

como ya se mencionó, es aportada por las precipitaciones normales de la zona, que son suficientes para garantizar un buen desarrollo de este cultivo, mientras que las temperaturas medias mensuales no alcanzan a situarse entre los 30°C y 35°C, temperatura óptima para la fotosíntesis (FONAIAP, 1986), pero se mantienen entre los 25°C y los 30°C, temperaturas que resultan apenas adecuadas. Aunque es la zona más extensa de la región, su orografía y clima han propiciado que los bosques y selvas se conserven en alrededor de un 50% de la superficie.

Por otro lado, aunque la ganadería en esta zona, que suma las 169,103 ha, se practica bajo condiciones de sequía con severidad muy fuerte, repartida de manera homogénea por toda la zona (Figura 4.1), no se encuentra bajo las condiciones severas de la planicie costera, impactando en menor medida la escasez de agua. Aunado a esto, el factor económico ofrece una mejor preparación ante los eventos de sequía, comparado con el resto de la región, ya que el índice de marginación es medio (CONAPO, 2001).



Foto 4.1 El Naranjo, San Luis Potosí.

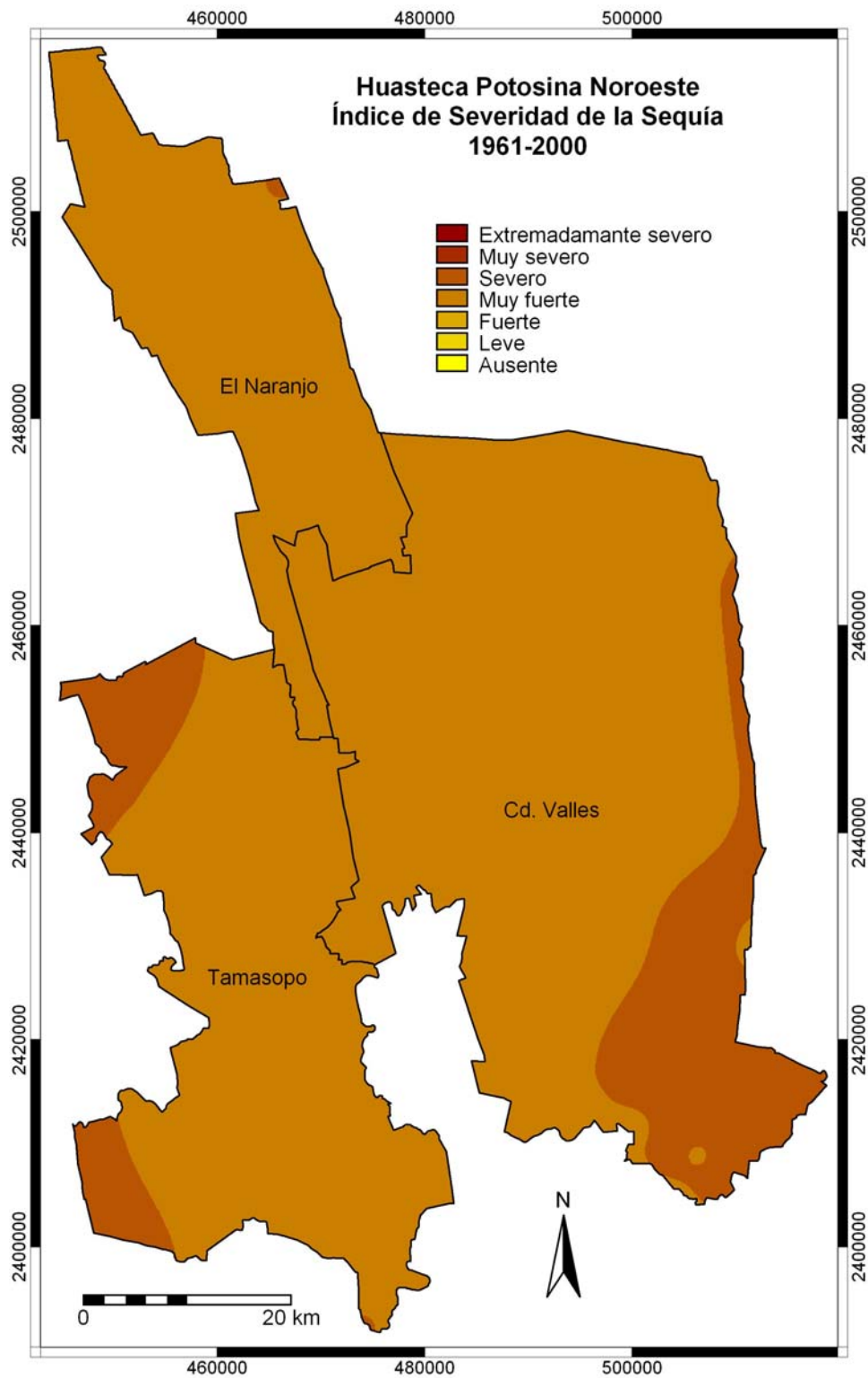


Figura 4.1 Índice de severidad de la sequía de la zona noroeste de la Huasteca Potosina. Elaboración propia.

Por otro lado, la zona noreste, que suma 305,711 ha, delimitada por San Vicente Tancuayalab, Tamuín y Ébano (Fotos 4.2 y 4.3) que comparten la Llanura Costera del Golfo Norte, se caracteriza por la cría de ganado bovino y aves, así como el cultivo de sorgo, maíz, soya y con áreas de pastos en Tamuín y Ébano.

Esta zona ha registrado precipitaciones que van de los 900 a los 1300 mm anuales y temperaturas medias constantes mayores a 24°C que se relacionan con la sequía severa registrada, razón por la cual el maíz, cultivo resistente a altas temperaturas y menor humedad, cubre un área de 17,082 ha. Sin embargo, el cultivo más extendido en esta zona es el sorgo con un total de 32,828 ha, el cual se desarrolla muy bien con altas temperaturas y resiste mejor las sequías que el maíz. El sustento de estos cultivos es el suelo de tipo vertisol, favorable para los pastizales, ya que en estación seca se agrietan, amortiguando y equilibrando su densidad, promoviendo el buen desarrollo de sus raíces (Sánchez Vera et al., 2003). Así, el área dedicada a la ganadería, la más extensa de la Huasteca Potosina, asciende a las 255,415 ha.

Al contrario de la zona noroeste, esta zona, la segunda en extensión, está cubierta por selvas y bosques en menos del 10% de su territorio. El uso de suelo agropecuario rebasa el 85%.

Por lo anterior, aunque el porcentaje de población que tiene ingresos menores a 2 salarios mínimos alcanza más del 72% de la población en esta zona, las actividades agropecuarias y sus productos se desarrollan aceptablemente pese a la sequía severa predominante (Figura 4.2). El indicador de salarios se complementa con los indicadores mencionados al principio de este apartado, para calcular el índice de marginación que apenas se cuela al nivel alto promediando los 3 municipios. Sin embargo, las variables de porcentaje de la población con agua entubada y drenaje son mejores, mostrando mejor infraestructura de distribución de agua que el resto de los municipios de la región, exceptuando la zona noroeste que tiene mejores condiciones generales (CONAPO, 2001).



Foto 4.2 Tamuín-Ébano, San Luis Potosí.



Foto 4.3 Tamuín-Ébano, San Luis Potosí.

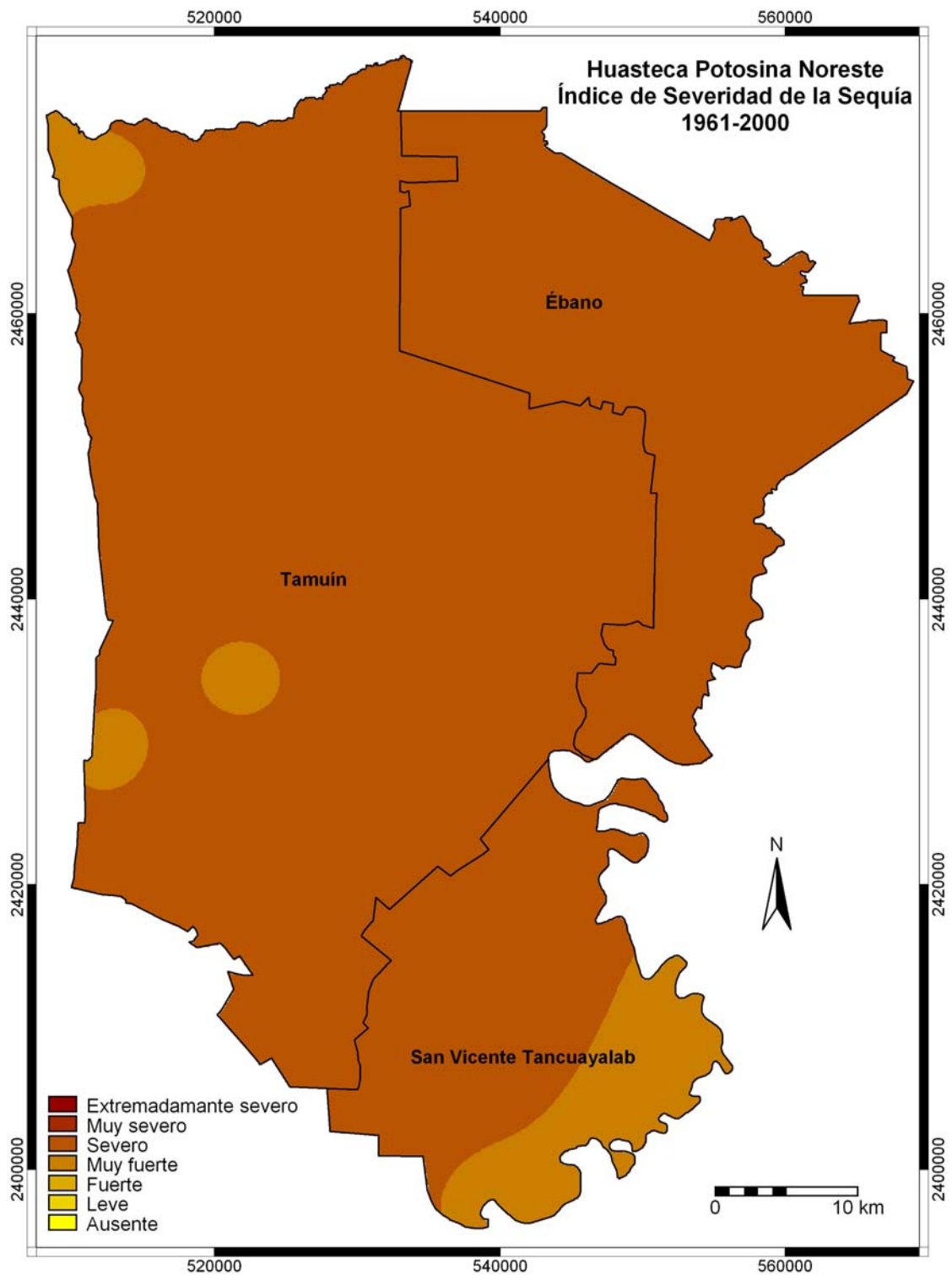


Figura 4.2 Índice de severidad de la sequía de la zona noreste de la Huasteca Potosina. Elaboración propia.

Continuando con la descripción de cada zona seleccionada, la zona centro se extiende 196,056 ha y comprende 8 municipios: Aquismón, Tancanhuitz (Foto 4.4), Tanlajás, San Antonio, Tanquián de Escobedo, Huehuetlán (Foto 4.5), Coxcatlán, Tampamolón Corona. Sus principales actividades agrícolas son el cultivo de la naranja, algo de caña de azúcar y café con una extensión agrícola de 101,117 ha que, al igual que la zona noroeste, se distribuye sobre suelos del tipo rendzina y litosol. Las temperaturas medias oscilan entre los 23°C y los 25°C y la precipitación entre los 1,100 y los 2,600 mm al año.

La sequía muy fuerte alcanza a cubrir 152,912 ha, mientras que la severa abarca 43,144 ha, que corresponden principalmente a los municipios de Tanlajás y Tanquián de Escobedo en el extremo nororiental y pequeñas fracciones del territorio de San Antonio y Tampamolón Corona (Figura 4.3). El avance de la sequía, como se demostró en el capítulo 3, amenaza a las actividades de esta zona que está cubierta con el 30% aproximadamente de selvas y bosques, mientras más del 60% es dedicado a la ganadería.

Esta zona se posiciona en tercer lugar de extensión territorial pero el 91% de sus habitantes viven en poblaciones menores a los 5,000 habitantes, cuestión que dificulta que se le dé prioridad para la asignación de recursos públicos para infraestructura de extracción, almacenamiento y conducción de agua, así como de electricidad y demás servicios públicos, en detrimento de su preparación ante eventos de sequía fuertes que pueden derivar en desastre. Estas variables dan como resultado un índice de marginación alto, el más alto de la región, que, aunque las precipitaciones y temperaturas son las adecuadas para el cultivo de la naranja y el cafeto, los eventos de sequía severa vuelven más vulnerable a la zona.



Foto 4.4 Tancanhuitz de Santos, San Luis Potosí.



Foto 4.5 Huehuetlán, San Luis Potosí.

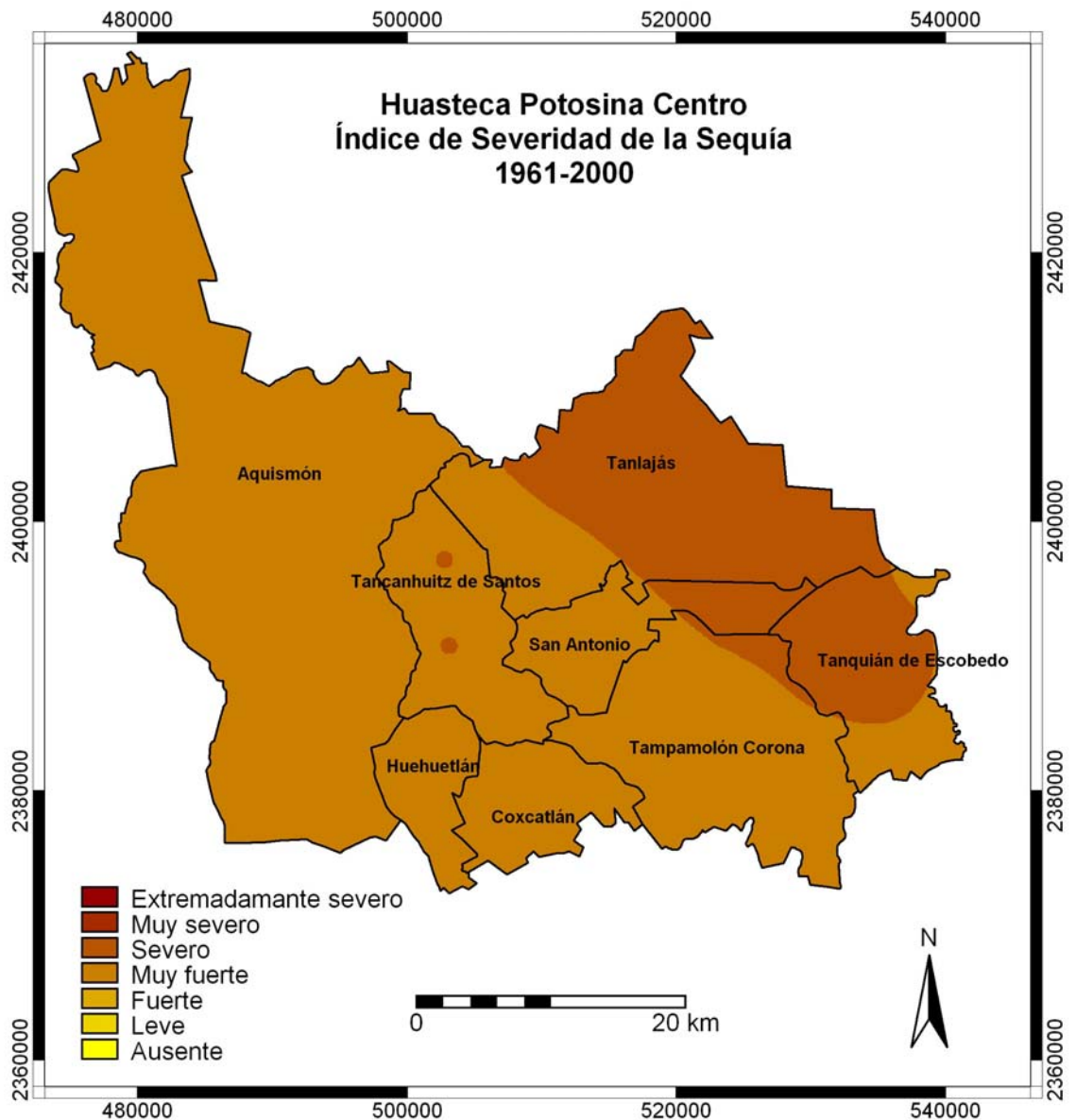


Figura 4.3 Índice de severidad de la sequía de la zona centro de la Huasteca Potosina. Elaboración propia.

Por último, la zona sur, que cuenta con 167,167 ha de superficie, está delimitada por los municipios de Xilitla (Foto 4.6), Axtla, Tampacán, Matlapa, San Martín Chachicauitla y Tamazunchale, los cuales se dedican al cultivo del café en las zonas más altas, parte occidental, con un total de 10,513 ha, y a la producción de naranja en el resto de la zona sumando 20,082 ha de producción. En cuanto a la ganadería, se cuenta con una extensión de cerca de 63,000 ha.

Una vez más, los suelos de tipo rendzina y litosol cubren la mayoría de este territorio. Además, alrededor del 35% de su superficie está cubierta por selvas y bosques.

Según el análisis, la sequía muy fuerte es la predominante en esta zona sur de la Huasteca Potosina (Figura 4.4). Se registra una precipitación media del orden de los 1,791 mm anuales y una temperatura media que oscila alrededor de los 24°C durante el año, que son buenos valores para los requerimientos de sus principales cultivos. Aunque las características edafoclimáticas son buenas, el nivel de marginación de la zona es alto, el 84% de la población gana menos de 2 salarios mínimos. Un problema importante en cuanto a dotación de agua potable a viviendas es que el 58% de la población no cuenta con este servicio. Otro rasgo que esta zona comparte con la centro es que el 98.9% de la población vive en comunidades menores a 5,000 habitantes.



Foto 4.6 Xilitla, San Luis Potosí.

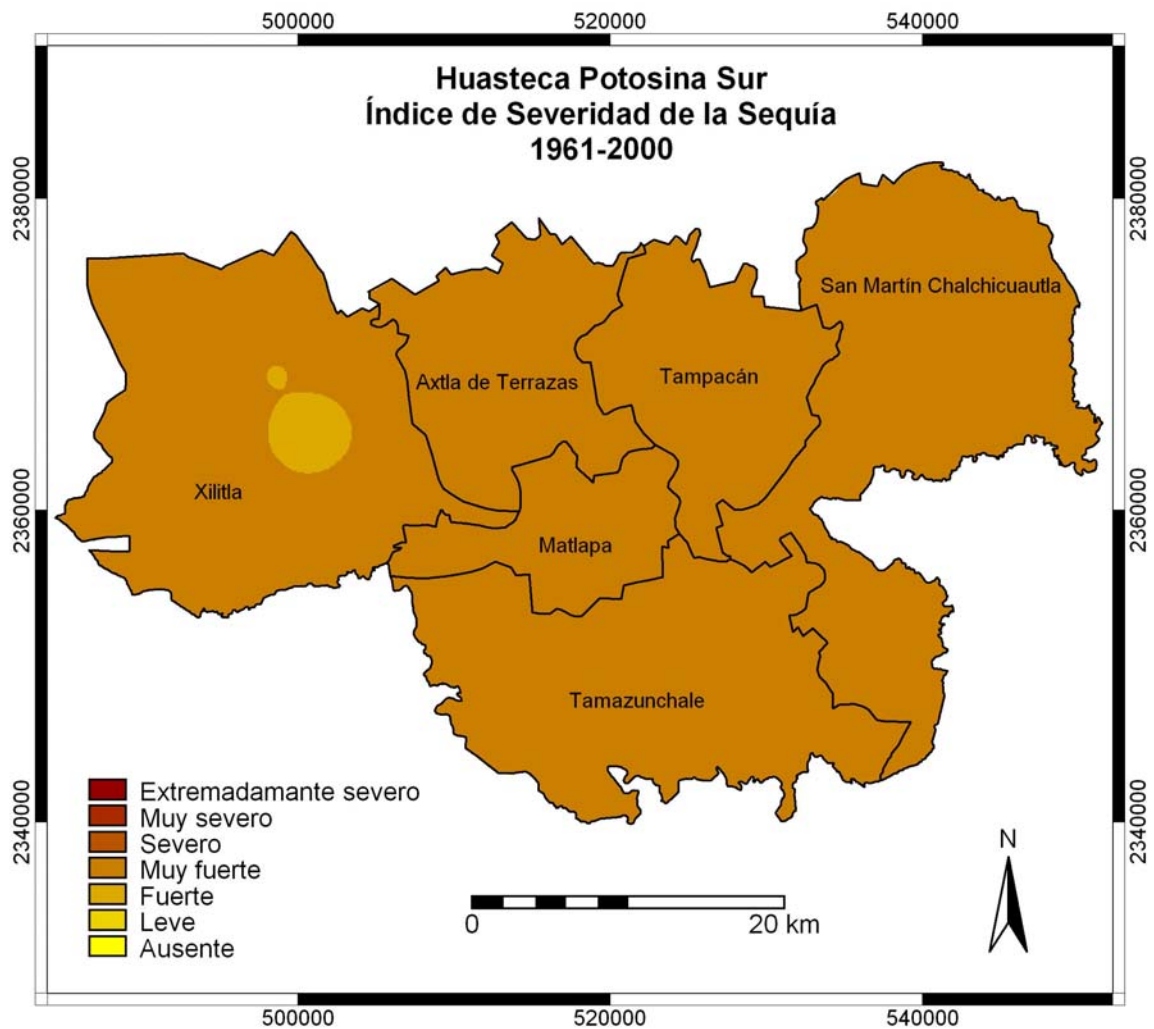


Figura 4.4 Índice de severidad de la sequía de la zona sur de la Huasteca Potosina. Elaboración propia.

Además de la propuesta general de manejo de la sequía para toda la región que se presenta a continuación, se proponen también características específicas de acuerdo al detalle de análisis descrito.

4.2. Propuesta general para el manejo de la sequía

Así como se han estudiado extensamente los rasgos físicos de los desastres, es necesario recordar los principales elementos para disminuir la vulnerabilidad, analizados en el capítulo 1 de este estudio: difusión y comprensión de los pronósticos; capacidad técnica para aplicar medidas preventivas; y la disponibilidad de recursos financieros para llevar a cabo esas medidas (Magaña y Gay, 2001).

Además de estos principios, se han tomado para la elaboración de esta propuesta los ejemplos más sobresalientes para el manejo de la sequía en Estados Unidos, Australia y México, que aunque no se encuentran disponibles sus resultados de evaluación o indicadores de desempeño, si ofrecen una guía importante para la concepción del presente plan. Se han utilizado aquellas medidas que se pueden trasladar y adecuar al caso de la Huasteca Potosina.

Es importante hacer notar que uno de los obstáculos encontrados en el desarrollo de este capítulo fue la información confusa y repetitiva del Centro Nacional para la Prevención de Desastres, CENAPRED.

La mayoría de los documentos disponibles ofrecen poca información sustancial y un listado largo de instancias competentes en el manejo de la sequía incluyendo secretarías, direcciones de gobierno, entidades, leyes, reglamentos y similares que dificultan una toma de decisiones eficaz. Por otro lado, la Ley de Protección Civil del Estado de San Luis Potosí (LVII Legislatura de SLP, 1998) en su artículo 11, fracción V establece la necesidad de “promover y fomentar el estudio e investigación en materia de protección civil a través de instituciones de educación superior”, pero deja de lado su participación en la activa toma de decisiones. Esta necesidad de desarrollo científico queda de manifiesto en el texto “Desastres: Guía de prevención” del CENAPRED (sin fecha), pero no existen recomendaciones para el caso de las sequías.

Una de las premisas básicas para esta propuesta de manejo es que se adapte a los cambios de gobierno, de prácticas productivas y tecnológicas y hasta

cambios culturales. Esto se logra mediante su revisión periódica. Se propone un plan de manejo general de la sequía a escala regional y algunas características especiales de acuerdo a las zonas propuestas.

Por otro lado, cualquier propuesta de medidas estructurales, de infraestructura, deberá tomar en cuenta las condiciones sociales de las comunidades establecidas, las especies locales de flora y fauna, los impactos acumulativos derivados de medidas similares en el sitio de estudio o en sus cercanías. Es necesario este énfasis debido a que los estudios de impacto ambiental y de riesgo para este tipo de obras han sido, históricamente, tendenciosos o trancos. Por las razones expuestas, aunque fuera del alcance de esta propuesta, se propone la revisión de los mecanismos vigentes para el manejo de los desastres por sequía.

Una vez establecidos los criterios en los que se basa esta propuesta y debido a la necesidad de integrar la dimensión social, la visión desde abajo, planteada en el apartado 1.2.2 del capítulo 1, se plantea un plan general de manejo y algunas propuestas particulares respecto a las zonas antes analizadas.

4.2.1. Manejo general de la sequía

La primera parte del plan de manejo de la sequía se integra por las medidas generales para la región divididas en medidas no estructurales y estructurales. Las primeras están priorizadas en la primera y segunda etapa, de acuerdo a las necesidades propias de la región de estudio.

En la primera etapa de las medidas no estructurales se han incluido los objetivos específicos del Plan Hidráulico de Gran Visión que para el Estado de Chihuahua crearon la CONAGUA, a través de la Subdirección General de Programación, Gerencia Regional Norte, y el gobierno de Chihuahua en 1997 (CENAPRED, 2002:33) y algunas propuestas particulares que las complementan:

A) Medidas no estructurales primera etapa:

1. Re-estructuración del sistema administrativo de los organismos operadores del agua y de las entidades que participan en el manejo de la sequía
2. Simplificación legislativa y administrativa
3. Seguridad jurídica a los usuarios
4. Conservación de los acuíferos y calidad de sus aguas

De estas medidas, la re-organización de los organismos operadores es uno de los retos más importantes a vencer y con mayor relevancia ya que permitirá la flexibilización para la creación de políticas públicas. Esto se complementa con la simplificación legislativa y administrativa de las entidades involucradas en la prevención y control de la sequía.

La conservación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos y su calidad dependen en gran medida de la reducción de su contaminación. Esto se logra con el cumplimiento de la ley, mediante la supervisión de emisiones y descargas de aguas residuales de servicios sanitarios y de procesos industriales y la aplicación de las sanciones correspondientes. Aunado a esto, se busca aumentar la disponibilidad de agua tratada para diversos usos, mediante medidas estructurales que serán mencionadas más adelante. Es también necesaria una estricta vigilancia en la disposición de basura, desechos domésticos, peligrosos y no peligrosos en rellenos sanitarios y confinamientos controlados para evitar que los lixiviados contaminen las aguas subterráneas.

Estas propuestas para la primera etapa del manejo de la sequía son indispensables debido a las carencias únicas en nuestro país y deben ser solventadas antes de aplicar recursos a otras medidas dependientes de éstas.

La segunda etapa de medidas no estructurales se integra por las propuestas de Wilhite et al. (2000) para planes de manejo en Estados Unidos, las medidas adoptadas por el "Rural Adjustment Scheme Advisory Council" (Consejo para un esquema de ajuste rural) de Australia donde participan el estado, federación nacional de campesinos y expertos en economía, administración financiera,

bancaria y de manejo del campo (CENAPRED, 2002:31), propuestas del CENAPRED (2002) para nuestro país y algunas adaptaciones para la región:

B) Medidas no estructurales segunda etapa:

1. Implementación de canales de participación social
2. Integración de la ciencia para la predicción, vigilancia y manejo de la sequía y creación de políticas públicas
3. Organización de una unidad de acción por sequía
4. Identificación de los grupos de riesgo
5. Integración de un inventario de recursos naturales y de infraestructura
6. Conservación de ecosistemas
7. Estudios de pre-acondicionamiento de cultivos
8. Motivación a productores agrícolas y rurales a la autoprotección
9. Apoyo a políticas de recuperación mediante la producción sustentable a largo plazo
10. Subsidios a empresas de transporte de carga de forraje, agua y ganado
11. Asistencia financiera a los campesinos más vulnerables
12. Desarrollo de programas de educación, capacitación y concientización sobre el uso eficiente del agua para cualquier actividad
13. Estructuración de un programa de comunicación de riesgo
14. Evaluación y revisión del plan mediante indicadores de desempeño
15. Transparencia del plan mediante sistemas de información

La participación social y la percepción de la comunidad y grupos afectados serán indispensables para lograr un plan de manejo de la sequía eficiente y congruente con el entorno, por esto se recomienda su participación activa en la planeación de las acciones ante la sequía. También es importante para este fin tomar en cuenta los planes de desarrollo urbano, basados en los planes de ordenamiento del territorio y ordenamiento ecológico.

La participación de la academia es indispensable para estructurar las necesidades sociales, económicas y ambientales. La percepción social y las características culturales de cada comunidad deben ser integradas en los análisis científicos para el manejo de la sequía.

Ya se ha experimentado en diversas regiones con técnicas de pre-acondicionamiento a la sequía (Vilagrosa et al., 2003), que consiste en ir adaptando o entrenando cierta especie a condiciones de menor humedad, hasta lograr su desarrollo en las condiciones mínimas requeridas, por lo que se proponen estudios a fondo sobre la técnica.

El programa de comunicación del riesgo se refiere a la eficiente comunicación de los resultados de la investigación en predicción y prevención de la sequía. Los estudios científicos integrados al plan de manejo deben ser difundidos a todos los sectores con dos fines: dar a conocer los resultados a tiempo para la toma de decisiones y recibir retroalimentación de todos los sectores.

La evaluación propuesta mediante indicadores de desempeño anuales es por trienios y responde a la duración de una administración municipal, ya que esto es uno de los factores de mayor relevancia al momento de implementar un plan con apoyo de gobierno. Además, como se mostró en el capítulo 3 de este estudio, apartado 3.2, el fenómeno del El Niño en la región se presenta erráticamente desde una ocurrencia en años consecutivos hasta un lapso máximo de 5 años. Así, la comparación de trienios evaluados será la clave para un mecanismo de replanteamiento del plan a mediano plazo, tomando en cuenta por lo menos 3 trienios. Uno de los problemas por sortear sobre este período propuesto es el tema de los comisariados ejidales, cuyos tiempos no necesariamente coinciden con el de la administración municipal. No obstante, este punto, como los demás es susceptible de adecuaciones. Los indicadores se detallan en el apartado 4.2.3 de este capítulo.

Los sistemas de información, para transparentar el quién, cuándo, y porqué se creó el plan de manejo de la sequía y los recursos económicos utilizados, se

consideran una herramienta muy útil para disminuir la corrupción y aumentar la correcta aplicación de los recursos.

Una vez establecidas las medidas no estructurales que se consideran de mayor importancia, debido a que no requieren de una alteración del entorno natural, se presentan las medidas estructurales:

C) Medidas estructurales:

1. Incremento de la cobertura de distribución de agua, especialmente para grupos sociales desprotegidos
2. Sistemas de extracción y distribución más eficientes
3. Mantenimiento de la infraestructura de riego y de las obras de almacenamiento: presas, bordos, etc.
4. Tratamiento de aguas residuales
5. Separación de agua de lluvia y drenaje sanitario y de procesos industriales

La primera medida estructural, la cobertura en distribución de agua, sigue siendo un problema importante en México e impide el desarrollo equitativo entre comunidades y sectores productivos. Está íntimamente ligado al índice de marginación.

Además, la revisión permanente de los sistemas de agua que dan servicio a todos los sectores para minimizar las fugas en la extracción y la distribución exige una estricta aplicación de recursos que ofrecerán ahorros futuros, tanto económicos como de agua. Esta revisión va de la mano con el mantenimiento de la infraestructura para el riego, presas, bordos y demás obras de almacenamiento de agua para detectar fugas o fallas estructurales. El uso eficiente del agua debe incluir sistemas de ahorro en todos los sectores industriales, de servicios público y a nivel doméstico. La actualización tecnológica en cualquiera de las partes del sistema de agua será regida por la capacidad económica y de operación particular para cada comunidad.

El tratamiento de agua residual doméstica e industrial es imprescindible para la conservación de los acuíferos, así como la separación del agua de lluvia para evita su contaminación con agua residual sanitaria y de procesos industriales, con el ventaja de que se necesita un sencillo tratamiento para su almacenamiento, inyección al subsuelo o uso inmediato. Esta medida requiere de grandes recursos económicos para su implementación en zonas ya urbanizadas y su principal obstáculo es la adecuación de los reglamentos de construcción para que los municipios obliguen a los urbanizadores a construir sistemas separados de drenaje.

Una vez establecido el plan general de manejo para la región, se proponen ciertas particularidades que se deben tomar en cuenta, principalmente debido las principales actividades, tipo de suelo y marginación, de acuerdo a la zonificación de la Huasteca Potosina.

4.2.2. Particularidades del manejo de la sequía por zona

En el inciso 4.1 de este capítulo se hizo un análisis de la Huasteca Potosina según zonas con similitudes en actividades productivas, uso de suelo, características edafológicas y de relieve y según los criterios económicos que conforman el índice de marginación. Basado en este análisis, se presentan las propuestas particulares para cada zona.

- A) Zona Noroeste: esta zona se encuentra en una situación favorable en cuanto a su principal cultivo, a la ganadería que se desarrolla y a sus posibilidades económicas, relacionadas con la sequía normal de índice muy fuerte, y la convierten en la menos vulnerable de toda la región. Acorde a esto se hace énfasis en algunas de las medidas propuestas anteriormente:
- 1) Conservación de los ecosistemas. Esta medida responde a la necesidad de mantener la mayor superficie de bosques y selvas en su estado

actual para mantener las condiciones climáticas e impedir que la deforestación altere el clima, exacerbando la sequía. Actividades como la silvicultura sustentable y el ecoturismo son opciones encaminadas a este fin. El plan detallado servirá para que la ordenación de estas actividades deriven en los resultados buscados.

- 2) Revisión detallada del plan mediante los indicadores de desempeño. Esto responde a que la sequía de índice severo ya ha comenzado su aparición en la zona y su análisis, según la metodología propuesta en este estudio, y dará en el mediano plazo la pauta para considerar medidas aún más fuertes de conservación, en caso que la sequía severa siga avanzando.

B) Zona Noreste: en esta zona de la planicie costera del Golfo de México se han promovido actividades agropecuarias que cubren la mayor parte de la superficie y han influido en los cambios de régimen de precipitación y de temperaturas. Estos cambios han favorecido que la sequía severa se presente sobre casi toda la región y las condiciones climáticas se asemejen cada vez más a las de un clima desértico, del tipo menos seco, pero que de aumentar su frecuencia llevarían a la región a una más profunda transformación de la vegetación y de las condiciones de suelo, afectando al mismo tiempo sus actividades productivas. Las medidas particulares para esta región son:

- 1) Investigación sobre el pre-acondicionamiento de especies para cultivo. Esta técnica se ha utilizado con éxito en algunas especies que se van acondicionando en laboratorio a condiciones de menos humedad y temperatura. Esto podría ser una alternativa aunada a la rotación de cultivos. Esta propuesta requiere de un estudio extenso.
- 2) Re-acondicionamiento del suelo. Se busca aumentar el contenido de CO₂ y de biomasa en suelos degradados intercalando especies. Esta

técnica sirve también para captar y retener mayor humedad, evitando la erosión del suelo.

- 3) Reforestación. Debido al bajo porcentaje de bosques y selvas en esta zona.

C) Zona Centro: la alta marginación y los cultivos más importantes que necesitan de humedad considerable, convierten a esta zona muy vulnerable a los eventos de sequía severa. Se proponen las siguientes medidas:

- 1) Conservación de los ecosistemas. Como ya se señaló, es imprescindible mantener la actual cobertura de selvas y bosques que se pueden aprovechar para silvicultura sustentable o ecoturismo, entre otras actividades productivas, para detener la deforestación y el avance de la sequía.
- 2) Investigación sobre el pre-acondicionamiento de especies para cultivo. Involucra las mismas características anteriormente mencionadas.
- 3) Incremento de la cobertura de distribución de agua, especialmente para grupos sociales desprotegidos.
- 4) Revisión detallada del plan mediante los indicadores de desempeño. Esta zona es también amenazada con el avance de la sequía severa y la revisión de los indicadores permitirán una mejor toma de decisiones para detener su avance.

D) Zona Sur: la zona sur de la región cuenta todavía con más del 35% de selvas y bosques y sus niveles de marginación son altos. Se propone:

- 1) Conservación de los ecosistemas mediante la reducción de deforestación para frenar el avance de la sequía, mediante las actividades de conservación que ya fueron expuestas.
- 2) Incremento de la cobertura de distribución de agua, especialmente para grupos sociales desprotegidos.

La última parte de las propuestas para el manejo de la sequía es la evaluación mediante indicadores de desempeño que se detallan a continuación.

4.2.3. Evaluación del manejo

En este plan de manejo de la sequía se propone utilizar indicadores de desempeño que sean objetivos y verificables. Éstos permiten evaluar, de manera cuantitativa, el cumplimiento de las metas trazadas en el manejo de la sequía para disminuir sus impactos en las diversas actividades productivas de la región y en su población. Según Posavac y Carey (2003:7-10), los indicadores sirven para saber si las necesidades fueron cubiertas, revisar los alcances de la implementación del plan, así como su funcionalidad, además de medir la eficiencia costo-beneficio.

Los indicadores de desempeño son identificados de manera que sean medibles y que sirvan como herramienta de análisis. Se utilizaron cinco pasos para la selección de los indicadores, de acuerdo a las metodologías actuales (CLAD, 2003; UNILIB, 2005; UNAM, sin fecha):

1. Descripción de actividades: la descripción de las medidas estructurales y no estructurales ya han sido mencionadas.
2. Identificación de lo que se desea medir: el objetivo del manejo de la sequía es disminuir sus impactos en las actividades productivas y de servicios de las comunidades de la Huasteca Potosina.
3. Identificación de los usuarios de la información: los indicadores de desempeño serán útiles tanto para los productores e industriales como para las instancias de gobierno que deciden la asignación de los recursos para las distintas actividades productivas de la región.
4. Periodicidad de los indicadores: se propone que el análisis del desempeño se realice cada 3 años, para tener una base que corresponda a la actuación de una administración municipal de principio a fin.

5. Comparación de los indicadores: los indicadores serán medidos y su eficacia será positiva si se logran disminuir las afectaciones en todos los sectores por eventos de sequía.

Los Indicadores de desempeño para el manejo del agua son:

A) Administrativos

- 1) Recursos ejercidos para mitigación y recuperación (\$)
- 2) Pérdidas agropecuarias por sequía (\$)

B) Estructurales

- 1) Cobertura de agua entubada habitacional (%)
- 2) Fugas (% de la extracción)
- 3) Fugas en distribución para consumo industrial y residencial (\$)
- 4) Descargas a cuerpos de agua (m³)
- 5) Tratamiento de aguas industriales y sanitarias (m³ y % con respecto a las aguas residuales generadas)
- 6) Infraestructura para almacenamiento de agua (m³)
- 7) Disminución del nivel freático para extracción de agua (m de profundidad)
- 8) Sistema de drenaje mixto en zonas urbanas (% , metros de drenaje mixto del total del drenaje urbano)

Se recomienda iniciar con un plan piloto en algunas comunidades de cada zona para hacer una pre-evaluación, integrando los factores característicos de cada comunidad seleccionada, de acuerdo a su administración local, infraestructura y a las necesidades que pudieran escapar de esta propuesta.

En el siguiente capítulo se ofrecen conclusiones en base a los análisis de este proyecto, los resultados obtenidos y a los posibles alcances futuros y estudios que se pueden derivar.

5. CONCLUSIONES

La propuesta metodológica de este trabajo de investigación ofrece la base técnica para estudiar la sequía, centrándose en la sequía meteorológica, con la posibilidad de hacer las adecuaciones necesarias para otras regiones según la disponibilidad de información, calidad de esta y características particulares que puedan existir fuera del contexto de la Huasteca Potosina.

Este proyecto aporta la sistematización del estudio de la sequía meteorológica y sus diversos cálculos para medir su magnitud, sentando la base para las siguientes etapas del análisis de la sequía: hidrológica, agrícola y socio-económica. La recuperación epistémica de los impactos de la sequía y su manejo es la última fase para lograr un análisis integral de este fenómeno.

A pesar de la falta de información, los registros meteorológicos disponibles, que datan de 1961, fueron suficientes para los cálculos de meteorología básica y de climatología.

Por otro lado, el método de interpolación para las cartografías aquí propuestas tiene la capacidad de analizar grandes cantidades de datos en poco tiempo y para aplicar la técnica de comparación por períodos de tiempo. Esto se pudo lograr gracias a la tecnología informática de SIGs y a la automatización de los cálculos, aunque sacrificando el detalle fino de la escuela tradicional que, en sus métodos manuales, incluye múltiples variables como el gradiente vertical de temperatura. Por esta razón, el trabajo por parte de expertos en programación deberá estar encaminado a encontrar los algoritmos matemáticos para conjuntar las dos propuestas.

Este método sistematizado de análisis de sequía será útil en futuras aplicaciones socio-económicas y para delinear políticas públicas para el manejo integral de la sequía.

El índice de severidad de la sequía, eje central del análisis de impacto de la sequía, ha sido probado en distintas regiones de nuestro país, pero de manera

aislada, es decir, sin validar los resultados mediante otros métodos. Por tanto, la importancia de este estudio en su integración con otras técnicas para medir la sequía.

Se han mostrado las tendencias de aumento en la incidencia de la sequía hacia un índice severo, confirmado por ligeros cambios encontrados con el método de análisis de tipo de clima por períodos, que muestra cómo algunas estaciones experimentan cambios a tipos de clima menos húmedos y más calientes. Aunque el caso más notable es el de la estación Velasco en Tamuín, a sólo 24 km del extremo oriental de la región, con un desarrollo desde el menos húmedo de los climas cálidos hacia el más húmedo de los secos, un total de 18 estaciones también experimentan disminución de humedad. Los casos más sobresalientes fueron en las estaciones de Ébano y El Coco en Tamuín, donde se identificó una transición de clima tropical a seco durante el último período de estudio 1985-2000.

Aunado a lo anterior, el cálculo de la moda de precipitación ajustada a la función *gamma* incompleta ofrece una tendencia de incremento de 3 estaciones con precipitaciones menores al 25% de la moda ajustada cada 25 años, para toda la región.

Una vez establecidas las tendencias de comportamiento de la sequía por los métodos anteriores, se utilizó la información de la presencia de los fenómenos de El Niño y La Niña para tratar de encontrar una correlación fenómeno-precipitación. Aunque es necesario un trabajo futuro detallado, tomando en cuenta las magnitudes de El Niño, se concluye que cuando este aparece, la Huasteca Potosina es afectada con una disminución de precipitación. Por ejemplo, en el año de 1982 se experimentó un fenómeno de El Niño que comenzó en abril de ese año y se extendió hasta julio de 1983, al tiempo que se presentaron un total de 44 estaciones con precipitaciones por debajo del 25% de la moda de precipitación ajustada, promediando además un índice de sequía muy severo. Las características de precipitación y temperatura para ese año fueron las adecuadas para que 26 estaciones calificaran como clima seco. Por otro lado, los registros de temperatura máxima promediada ascendió a 30.2°C, que corresponde a los

niveles más altos en la región. Cabe aclarar que en la Huasteca Potosina se pueden registrar temperaturas cercanas a los 50°C. Los valores anteriores representan la media de las temperaturas máximas diarias durante todo el año.

En general, las tendencias de precipitación indican un decremento medio de 99 mm para los próximos 25 años y un incremento en las temperaturas de 0.45°C para el mismo período. La sequía podría pasar de su normal muy fuerte a severa, con una amenaza de proceso de desertificación.

El avance de la sequía en dirección noreste-suroeste y la incidencia sobre los distintos usos de suelo sirven de base para realizar la propuesta general de manejo de la sequía. El estudio, debido a su complejidad, fue delimitado para ser un análisis regional de la sequía sobre algunas características del territorio como uso de suelo, ya mencionado, y otros factores como las actividades agropecuarias, tipo de suelo y marginación. Sin embargo, el universo de variables locales de tipo social, económico y ambiental es muy extenso y el trabajo futuro, integrado con todos los sectores, será la clave para obtener resultados con mayor nivel de detalle.

La planeación de la sequía, aún en zonas de la Huasteca Potosina que presentan un índice de severidad muy fuerte, es imprescindible para tratar de frenar el avance de la sequía severa. Por esto, las medidas no estructurales que se han planteado incluyen la conservación de los ecosistemas con actividades que requieran de su conservación, como el ecoturismo o la producción forestal sustentable.

Como se explicó en el capítulo 2.5 de este trabajo, los métodos se seleccionaron debido a la ausencia de registros hidrométricos confiables y a la nula información sobre humedad del suelo, que hubieran permitido la integración de otros métodos que incluyeran a la sequía hidrológica y agrícola. Esto deja sobre la mesa la necesidad de mejorar y ampliar las redes de monitoreo meteorológico, de cuerpos de agua, de niveles freáticos y de humedad del suelo. La automatización de estaciones, la rapidez en la corrección y homologación de los registros y su efectiva comunicación a universidades, productores y cualquier

grupo de interés, permitirá el análisis climatológico en tiempo real para una mejor planeación y toma de decisiones.

Para lograr un efectivo manejo de la sequía es necesario un estricto control de los resultados del plan, mediante los indicadores de desempeño. No obstante, los resultados dependen de una correcta comunicación entre las partes involucradas. Dicha comunicación deberá fluir en todas direcciones y permitir la retroalimentación.

La sequía, como cualquier otro evento natural que puede derivar en desastre, es un tema de seguridad nacional que además de poner en peligro fuentes de producción de alimento, repercute en la economía de dichos sectores, en los precios y la disponibilidad de productos básicos de subsistencia y en el resto de la cadena productiva. También afecta las actividades de la industria de la transformación, los servicios y en los hábitos diarios de la población.

Si bien es cierto que una población puede adaptarse a los cambios en su entorno, modificando sus hábitos de vida y sistemas de producción, también es cierto que el aumento de la severidad de la sequía ha avanzado más rápido que su capacidad de adaptación. Esto se debe principalmente a cambios acelerados de uso de suelo para dar lugar a diversas actividades productivas para una población y economía crecientes. La deforestación derivada de estos cambios ha demostrado ser uno de los factores más importantes en el cambio de los patrones meteorológicos regionales. Por esta razón, es indispensable un ordenamiento urbano-industrial-ecológico, planeado de manera holística y no por separado.

Además, las circunstancias históricas, sociológicas y psicológicas, la visión desde abajo de la sequía, será indispensable para establecer un plan de manejo integral de la sequía, cuya cuantificación será adaptable a cualquier región del país a partir de esta propuesta.

Quizá la única respuesta, para impedir los cambios drásticos del entorno que agravan la sequía y reducen la base de los recursos hídricos de la región, esté en lograr un desarrollo sin crecimiento basado en potenciar las capacidades humanas para una mejor calidad de vida y no para una producción y acumulación cada vez

5. CONCLUSIONES

mayores. Por lo pronto, se podrá aminorar el impacto, mitigar los efectos y adaptarse a las nuevas condiciones climatológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ádem, J., 1982, *Simulation of the annual cycle of climate with a thermodynamic numerical model*, *Geofísica Internacional*, 21(3):229-247.
- Ahrens, C. D., 1991, *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Fourth Edition West.
- Ahrens, C.D., 2001, *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*, Brooks/Cole, Third Edition.
- Algara-Siller, M., 2000, *Propuesta para un sistema de alcantarillado pluvial en la zona poniente de la ciudad de San Luis Potosí, SLP*, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, septiembre de 2000.
- Amador, J. A. y E. Alfaro, 1996, *La Oscilación Cuasi-Bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales y estratosféricos sobre Costa Rica*, *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 3(1), 45-54.
- Amador, J. A., T. Ambrizzi, P. Cárdenas, G. Poveda, V. Magaña y C. Penland, 1997. *The Effect of Large-Scale Climate Variability on the Prediction of Local Hydroclimatology*, ISP-2 Proposal. Inter-American Institute for Global Change Research. Sao Paulo, Brazil, 13 pp.
- Amador, J. A., 1998, *A climate feature of the tropical Americas: the trade wind easterly jet*, *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 5(2). En Prensa.
- Amador, J. A. y V. O. Magaña, 1999, *Dynamics of the Low Level Jet over the Caribbean Sea*, Preprints, 20th Conference in Tropical Meteorology. 10-15 January 1999, Dallas, Texas, American Meteorological Society, 401-402.
- Aristóteles, 350 a.C., *On the Nature of Animals*, Traducción al inglés de *De Partibus Animalium* por William Ogle, Media Lab del Massachusetts Institute of Technology, EEUU, Libro IV.
- Arnold, D., 2000, *La naturaleza como problema histórico. El medio, la cultura y la expansión europea*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Ávila M., A., 1996, *¿A dónde va la Huasteca?*, *Estudios Agrarios*, Procuraduría Agraria, México, 5:9-30.
- Barry, R. G., and R. J. Chorley, 2003, *Atmosphere, Weather and Climate*, 8th edition, Routledge.
- Blaikie, P., T. Cannon, I. David, B. Wisner, 1996, *Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Bosque S., J., 2000, *Sistemas de Información Geográfica*, Rialp, 2a edición, Madrid.
- Brambrough, citado en Hagget, P., y R. J. Chorley, 1971, *La Geografía y los Modelos Socioeconómicos*, Inst. de Estudios de Admón. Local, Madrid.
- Buckle, P., 1990, *Prospects for Public Sector Disaster Management in the 1990's: An Indication of Current of Issues with Particular Reference to Victoria, Australia*, *International Journal of Moss Emergencies and Disasters*, 8(3):301-324.

-
- Butzer, K. y E. Butzer, 1997, *The Natural Vegetation of the Mexican Bajío: Archival Documentation of a 16th Century Savanna Environment*. Quaternary International, Great Britain 43/44.
- Cabrera, A. J., 2002, *La Huasteca potosina: Ligeros apuntes sobre este país*, México, Reedición del original de 1873, Colección Huasteca, El Colegio de San Luis, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Carson, R., 2002, *Silent Spring*, Edición del 40 aniversario, Mariner Books.
- CENAPRED, Centro Nacional para la Prevención de Desastres, *Desastres Guía de Prevención*, Secretaría de Gobernación-CENAPRED-Sistema Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED, Centro Nacional para la Prevención de Desastres, 2001a, *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-1999*, Serie Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, Secretaría de Gobernación-CENAPRED-Sistema Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED, Centro Nacional para la Prevención de Desastres, 2001b, *Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006*, Secretaría de Gobernación-CENAPRED-Sistema Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED, Centro Nacional para la Prevención de Desastres, 2001c, *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos y desastres en México*, Secretaría de Gobernación-CENAPRED-Sistema Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED, Centro Nacional para la Prevención de Desastres, 2002, *Sequía*, Serie: Fascículos, CENAPRED-Secretaría de Gobernación, México.
- CENAPRED, 2004, *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, Serie: Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED-Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaría de Gobernación, México.
- Chorley, R. J. y P. Hagget, 1971, *La Geografía y los Modelos Socio-económicos*, Inst. de Estudios de Administración Local, Madrid.
- Chuvienco, E., 1990, *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Ediciones Rialp SA, Madrid.
- CICC, 2006, *Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática*, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Semarnat, México.
- Comisión Nacional del Agua, 2003, *IV Foro de Predicción Climática en la República Mexicana*, Servicio Meteorológico Nacional de la CNA, México.
- Consejo Nacional de Población, 2001, *Índices de Marginación 2000*, CONAPO-SEGOB, México.
- Congreso del Estado de San Luis Potosí, 1998, *Ley de Protección Civil del Estado de San Luis Potosí*, Instituto de Investigaciones Legislativas del H. Congreso del Estado de San Luis Potosí, LVII Legislatura. Ley publicada en el Periódico Oficial el 27 de junio de 1998.

- Contreras S., C., 2005, *Las Sequías en México durante el siglo XIX*, México, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, pp 118-133.
- Contreras Servín, C., 2007, Documento Inédito. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, UASLP. Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades.
- CMNUCC, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1992, Relatoría de la convención, Río de Janeiro.
- Covello, V. y P. Sandman, 2001, Risk Communication: Evolution and Revolution, Anthony Wolbarst (ed.), Solutions to an Environment in Peril, Baltimore: John Hopkins University Press, pp. 164-178.
- Crosby, A., 1995, *The past and present of environmental history*, The American Historical Review, 100(4):1177-1189.
- Cuadrat, J. M. y F. Pita, 2004, *Climatología*, Cátedra, 3ª edición, España.
- Dai, A., K. E. Treberth, T. R. Karl, 1998, *Global variation in droughts and wet spells*. Geophys. Res. Lett. 1998;25:3367–3370. doi:10.1029/98GL52511
- Danielson, E. W., J. Levin, and E. Abrams, 2003, *Meteorology*, Second Edition McGrawHill.
- Denevan, W., 1992, *The Pristine Myth: The Landscape of the Americas in 1492*, Annals of the Association of American Geographers, 82(3):369-385.
- Diario Oficial, 2008, *Programa nacional de protección civil 2008-2012*, Poder Ejecutivo – Secretaría de Gobernación, 19 de septiembre de 2008, Id. vLex: VLEX-42729679.
- Dirzo, R. y A. Miranda, 1991, *El Límite Boreal de la Selva Tropical Húmeda en el Continente Americano. Contracción de la Vegetación y Solución de una Controversia*, Interciencia, Vol. 16, Núm. 5: 240-247, Caracas.
- Do Ó, A., 2005, *Regional Drought Analysis and Mitigation Using the SPI*, ICID 21st European Regional Conference 2005, 15-19 May 2005.
- Elterman, 1954, *The Measurements of Stratospheric Density Distribution with the Searchlight Technique*, Journal of Geophysical Research 56:509-520.
- Filonov, A. E., I. E. Tereshchenko y C. O. Monzón, 2003, *Hydrographic Monitoring of El Niño 97-98 off the Coast of Southwest Mexico*, Geofísica Internacional, 42 (2003), 307-312.
- FONAIAP, 1986, *Normas para el cultivo de la caña de azúcar*, Venezuela, FONAIAP Divulga, no. 20, enero-marzo.
- Fopreden, 2005, *Reporte 30 de septiembre al 12 de diciembre de 2005*, Evaluación del Fondo para la Prevención de Desastres, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México, AC, Coordinado por Dr. Sergio Puente.
- García, E., 1986, *Apuntes de climatología*, Según el programa vigente en las carreras de Biólogos UNAM de la FES de Cuautitlán, UNAM y de la UAM, México, DF.
- García, E., 1988, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, México.

-
- García, E., y M. E. Hernández, 1988, Anomalías de la precipitación en la República Mexicana de 1923 a 1980, *Revista de Geografía*, Vol. II, No. 3, México.
- Glacken, C., 1996, *Huellas en la Playa de Rodas. Naturaleza y cultura en el pensamiento occidental desde la antigüedad hasta finales del siglo XVIII*. Traducción de Juan Carlos García Borrón, Ediciones Serbal, Barcelona.
- Griffiths, J. F., 1985, *Climatología Aplicada*, Publicaciones Cultural, 1ª edición, México.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2001, *Tercer Informe de Evaluación, Cambio Climático 2001: La base científica*, Organización Mundial de Meteorología, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Guinart i Solá, 2003, Indicadores de gestión para las entidades públicas, VIII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Panamá, 28-31 octubre 2003.
- Handmer, J. y B. Wisner, 1999, *Conference Report: Hazards, globalisation, and sustainability*, *Development in Practice*, Voll. 9, Number 3, May 1999.
- Hartmann, B. y J. K. Boyce, 1983, *A Quiet Violence: view from a Bangladesh Village*, Zed Books, Londres.
- Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite y O. Vanyarkho, 1999, Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 80 (1999), 429-438.
- Heim Jr., R. R., 2002, *A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States*, *American Meteorological Society*, 2002, Vol 83, 1149-1165.
- Hernández, C. M. E., T. L. A. Torres y M. G. Valdez, 2000. *Sequía Meteorológica*. Pp. 25-40. En: C. Gay (comp.) México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program, México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Hershfield, D. M., 1962, *A note on the variability of annual precipitation*, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 1, 1962, 575-578.
- Hewitt, K., 1996, *Daños ocultos y riesgos encubiertos: haciendo visible el espacio social de los desastres*, en *Desastres Modelo para Armar: Colección de piezas de un rompecabezas social*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 11-29.
- Hipócrates de Kos, 400 a.C., *Of Airs, waters, and places*, Traducción al inglés de Francis Adams, Media Lab del Massachusetts Institute of Technology, EEUU, parte 23.
- INEGI, 1980, *X Censo General de Población y Vivienda 1980 Integración Territorial Estado de San Luis Potosí*, INEGI, México.
- INEGI, 1990, *XI Censo General de Población y Vivienda, 1990, San Luis Potosí, Resultados definitivos, datos por localidad (integración territorial)*, INEGI, México.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of working group I to the Third Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Köppen, W., 1936, *Das geographische System der Klimate in Handbunch der Klimatologie*, Band I, Teil C., Berlín, pp. 1-44.
- Lavell, A., 1996, *Introducción*, en *Estado, Sociedad y gestión de los desastres en América Latina: en busca del paradigma perdido*, Editores Lavell, A. y E. Franco, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 11-32.
- Liverman, D. M., 1996, *Variación ambiental y transformación económica: cambios en la vulnerabilidad a amenazas naturales en el México rural*, en *Desastres Modelo para Armar: Colección de piezas de un rompecabezas social*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 85-98.
- Lugo Hubp, J. y M. Inbar, 2002, *Desastres naturales en América Latina*, en José Lugo Hubp y Moshe Invar., *Desastres naturales en América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Lucrecio, 50 a.C., *On the Natura of Things*, Traducción al inglés de William Ellery Leonard, Media Lab del Massachusetts Institute of Technology, EEUU, Libro IV.
- Maderey Rascón, L. E. y A. Jiménez, 2001, *Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global*. Capítulo III. En México: una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Cimático en México, Instituto Nacional de Ecología-EMARNAP-Universidad Nacional Autónoma de México. US Country Studies Program, pp. 41-61.
- Magaña, V. (ed.). 1999. *Los Impactos del Niño en México*. México: UNAM/CONACYT.SG/IAI.
- Magaña, V., J. A. Amador y S. Medina, 1999. *The Midsummer Drought over México and Central America*. *J. Climate*, 12, 1577-1588.
- Magaña, V., y C. Gay, 2001, *Vulnerabilidad y Adaptación Regional ante el Cambio Climático y sus Impactos Ambiental, Social y Económicos*, México, Informe final presentado al Instituto Nacional de Ecología, p 31.
- Magaña, V., J. M. Méndez, R. Morales y C. Millán, 2004, colaboración en: *Cambio Climático: una Visión Desde México (Martínez y Fernández, 2004)*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, pp 203-226.
- Mansilla, E. (editora), 1996, *Presentación, Desastres Modelo para Armar: Colección de piezas de un rompecabezas social*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Martínez, J. y B. A. Fernández, 2004, *Cambio Climático: una Visión Desde México*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Maskrey, A., 1993, *Los desastres no son naturales*, Compilador: Andrew Maskrey, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, p. 4.

- Maskrey, A., 1996, *Prefacio*, en *Vulnerabilidad*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 5-8.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993, *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, 179-184.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1995, *Drought monitoring with multiple time scales*, preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
- Meyer, E. y E. Poniatowska, 1988, *Documenting the Earthquake of 1985 in Mexico City*, *Oral History Review*. 16.1, 1-31.
- Millenium Ecosystem Assessment Panel, 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington, DC.
- Montesquieu, 1821, *Del espíritu de las leyes*, traducción libre del francés por Don MVM del original de 1748, imprenta Demonville.
- Mosiño A., P. A., y E. García, 1981, *The variability of rainfall in Mexico and its determination by means of the gamma distribution*, *Geografiska Annaler*, 63 A (1981), 1-10.
- Nixon, A. y T. Carrant, 1998, *Acid Rain*, Library Parliament, Parliamentary Research Branch, Depository Services Program, Government of Canada.
- Palmer, W. C., 1965, *Meteorological Drought*, U. S. Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington.
- Posavac, E. J. y R. G. Carey, 2003, *Program Evaluation. Methods and Case Studies*, Sixth Ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Quarantelli, E. L., 1996, *Desastres y catástrofes: condiciones y consecuencias para el desarrollo social*, en *Desastres Modelo para Armar: Colección de piezas de un rompecabezas social*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 30-43.
- Romero, G. y A. Maskrey, 1993, *Cómo entender los desastres naturales*, en *Los desastres no son naturales*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 6-10.
- Rzedowski, J., 1963, *El Extremo Boreal del Bosque Tropical Siempre Verde en Norteamérica Continental*, en *Vegetatio* Núm. 11.
- Sabins, F. F., 2000, *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, Third Edition W. H. Freeman and Company, New York, pp. 69-78.
- Sánchez Vera, G., J. J. Obrador Olan, D. J. Palma-López y S. Salgado García, 2003, *Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas*. *Interciencia* [online], junio 2003, vol.28, no. 6, pp.347-351. Disponible en la Web: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000600007&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.
- Schotland, R.M., 1966, *Some Observations of the Vertical Profile of Water Vapor by Means of a Laser Optical Radar*, *Proceedings of the 4th International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, 273-283.
- Schroll, C., 2005, *Emergency Planning*, Professional Safety, American Society of Safety Engineers.

- Secretaría de Energía, 2006, *Reporte de actividades de la SENER 2005-2006 en material de cambio climático*, 1^{er} Reporte Público Anual de Acción Climática, México.
- Secretaría de Economía, 1952, *Integración Territorial de los Estados Unidos Mexicanos Séptimo Censo General de Población 1950 Estado de San Luis Potosí*, Secretaría de Economía-Dirección General de Estadística, México.
- Secretaría de Industria y Comercio, 1963, *VIII Censo General de Población 1960 Estado de San Luis Potosí*, Secretaría de Industria y Comercio-Dirección General de Estadística, México.
- Secretaría de Industria y Comercio, 1973, *IX Censo General de Población 1970*, Secretaría de Industria y Comercio-Dirección General de Estadística, México, Volumen III.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 2000, Fenómeno “El Niño 1997/98”. Lima-Perú.
- Shabbar, A. y W. Skinner, 2004, *Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures*, J. Climate, 14:2866-2880.
- Szeljak, G., 2003, “*porque si no comemos maíz no vivimos.*” *Identidad y ritos de fertilidad en la Huasteca hidalguense*, en *¡Viva la Huasteca! Jóvenes miradas sobre la región*, coordinadores Pérez Cevallos, J.M. y J. Ruvalcaba Mercado, Colección Huasteca, México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social y El Colegio de San Luis, p. 120.
- Thom, H. C. S., 1958, *A note on the gamma distribution*, Montly Weather Review, Vol. 86, No. 4, 117-122.
- Trenberth K. E., 1997, *The Difinition of El Niño*, Bull. Amer. Met. Soc., 78, 2771-2777.
- Trenberth, K. 1997, *What is happening to El Niño*, pp. 88-99. In: *1997 Yearbook of Science and the Future*. Chicago: Encyclopedia Britannica.
- Trewin, B., 2007, *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante*, Programa mundial de datos y vigilancia del clima, Documento WCDMP-N° 61, OMM-TD N° 1377, Eds. Baddour, O. y Kontongomde, H., Organización Meteorológica Mundial.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México, sin fecha, *Guía Metodológica para la Construcción de Indicadores de Desempeño*, Dirección General de Planeación, Secretaría Técnica del Consejo de Planeación, México.
- Universidad Libre de Colombia, 2005, *Plan Integral de Desarrollo Institucional 2005-2014 Anexo 5 Guía Metodológica para la construcción de indicadores de gestión*, Universidad Libre de Colombia.
- Vázquez-Yanes, C. y A. Orozco-Segovia, 1992, *El Bosque Lluvioso en América Tropical: Dinámica Forestal, Reforestación, Manipulación de las Semillas y Problema de Manejo*, The RNGR Team, 43(4):119-124.
- Vilagrosa, A., J. Cortina, Gil-Pelegrín y J. Bellot, 2003, *Suitability of Drought-Preconditioning Techniques in Mediterranean Climate*, Restoration Ecology 11(2):208-216.
- Vitruvius Pollio, Marcus, entre 23 y 27 a.C., *De Arquitectura*, Libro I de la colección de 10 libros de arquitectura, Capítulo 4, recomendación 6.

- Watts, M. J., 1983, *Silent Violence: food, famine and peasantry in northern Nigeria*, University of California Press, Berkeley.
- Wells, N., and S. Goddard, 2004, *A Self-Calibrating Parmer Drought Severity Index*, Journal of Climate Vol. 17, Issue 12, pp 2335-2351.
- Wilches-Chaux, G., 1993, *La vulnerabilidad global*, en *Los desastres no son naturales*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 11-44.
- Wildavsky, A., 1989, *Atmospheric Science and the Constitution of Public Policy: The Case of the National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP)*, Presentación hecha en el Summer Policy Colloquium 2002 de la American Meteorological Society, EEUU.
- Wilhite, D. A., 1991, Drought Planning: A process for State Government, Water Resources Bulletin 27(1):29-38.
- Wilhite, D. A., M. J. Hayes, C. Knutson y K. Helm, 2000, Planning for drought: moving from crisis to risk management, Journal of the American Water Resources Association 26(4):697-710.
- Wilhite, D. A., 2003, *Drought*, Encyclopedia of Water Science, pp. 160-162.
- Worster, D. 2000 (1989), *Las transformaciones de la tierra. Una antología mínima de Donald Worster*. Selección, traducción y presentación de Guillermo Castro H., Panamá, p. 46.

Sitios de internet

- Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 2004, <http://www.ciesas.edu.mx/bibdf/sedes/istmo/perfilindigena/teenek/conte07.html>.
- Friends of the Earth International, www.foei.org.
- Greenpeace, www.greenpeace.org.
- INEGI, www.inegi.gob.mx/lib/olap/general/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=11884, consulta 30 septiembre, 18:24.
- INEGI, www.inegi.gob.mx/lib/olap/general/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10261, consulta 30 septiembre 2008, 18:20.
- INEGI, www.inegi.gob.mx/lib/olap/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10401, consulta 30 septiembre 2008, 15:52.
- North American Drought Monitor, www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/monitoring/drought/nadm, del National Climatic Data Center de la National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos de América.
- Pollution Probe, www.pollutionprobe.org.
- Pulso Diario de San Luis, *Afecta la sequía a 20 municipios*, Sección local, 27 de abril de 2005, <http://www.pulsoslp.com.mx>.

Pulso Diario de San Luis, *Contaminación provocó el cambio climático*, edición internet, Sección local, 7 de octubre de 2005, <http://www.pulsoslp.com.mx>.

Real Academia de la Lengua, www.rae.es.

Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2003, *Resultados del IV Foro de Predicción Climática de la República Mexicana*, México DF, a 10 de junio de 2003.

Sierra Club, www.sierraclub.org.

Proyectos relacionados

SAGARPA-2004-C01-186/A-1, *Propuesta de una metodología para identificar zonas vulnerables a la sequía y a las plagas que afectan a las actividades agropecuarias en la Huasteca Potosina, apoyada en imágenes de satélite, sistemas de información geográfica, análisis multivariado y un modelo de simulación climática*, a cargo de la Dra. Guadalupe Galindo Mendoza, CCSyH, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cartografía

Hernández, M. E., 2007, *Clasificación climática para la Huasteca Potosina*, elaborado para el proyecto *Propuesta de una metodología para identificar zonas vulnerables a la sequía y a las plagas que afectan a las actividades agropecuarias en la Huasteca Potosina, apoyada en imágenes de satélite, sistemas de información geográfica, análisis multivariado y un modelo de simulación climática*, registro: SAGARPA-2004-C01-186/A-1.

INEGI, Carta topográfica F14-5 Ciudad Mante y F14-8 Ciudad Valles, escala 1:250,000.

Base de datos y software

Algara-Siller, M., 2008, *CalculoClimatico*, código Matlab (2002), Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, 2006, *Eric III*, Disco Compacto, Coordinación: Lobat, R., México.

Matlab ver. 6.5.0.180913^a, Release 13, lenguaje de programación licenciado a Robert Sica, Registration 39836, University of Western Ontario, Junio 18 2002.

ANEXO A

Tabla A.1 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio

Clave	Localidad	Municipio	Estado	LongW	LatN	Altitud
13011	HUEJUTLA	HUEJUTLA	Hgo.	98.42	21.15	172
13021	ORIZATLAN	ORIZATLAN	Hgo.	98.62	21.18	210
13048	TLANCHINOL	TLANCHINOL	Hgo.	98.65	20.98	1589
13052	GRAL._PISAFLORES (SMN)		Hgo.			
13057	ZACATE_GRANDE	CHAPULU	Hgo.	99.02	21.12	2310
13104	CHAPULHUACAN_(SMN)	CHAPULHUACAN	Hgo.	98.90	21.15	220
13140	JALTOCAN	JALTOCAN	Hgo.	98.53	21.13	250
13141	LA_LAGUNA	ORIZATLAN	Hgo.	98.58	21.30	250
13145	SAN_FELIPE	ORIZATLAN	Hgo.			
22002	AYUTLA	ARROYO SECO	Qro.	99.59	21.37	55
22007	JALPAN	JALPAN (DGE)	Qro.	99.47	21.22	860
22008	JALPAN	JALPAN	Qro.	99.48	21.22	76
22019	LA_LAGUNITA	LANDA DE	Qro.	99.26	21.24	105
22024	TRES_LAGUNAS	LANDA DE	Qro.	99.20	21.33	187
24001	AGUA_BUENA	TAMASOPO	S.L.P.	99.38	21.95	372
24002	ALTAMIRA	CD. SANTOS	S.L.P.	98.97	21.67	45
24003	AQUISMON	AQUISMON	S.L.P.	99.08	21.63	45
24005	BALLESMI	CD. VALLES	S.L.P.	98.97	21.75	30
24006	CARDENAS	CARDENAS (DG	S.L.P.	99.65	22.00	1200
24009	S._MARTIN CHALCHICUAUTL	S. MARTIN CHALCHICUAUTLA	S.L.P.	98.67	21.38	1877
24011	CIUDAD_DEL MAIZ (DGE)	CD. MAIZ	S.L.P.	99.62	22.40	1239
24012	CIUDAD_VALLES	CD.VALL	S.L.P.	99.02	21.98	95
24013	COL._ALVARO OBREGON	CD. MAIZ	S.L.P.	99.57	22.28	1239
24014	DAMIAN_CARMONA	TAMASO	S.L.P.	99.28	22.13	2200
24015	EBANO	EBANO	S.L.P.	98.38	22.22	2200
24016	EJIDO_ABRITAS	EL NARANJO	S.L.P.	99.40	22.50	2200
24017	EL_COOCO	TAMUIN	S.L.P.	98.73	22.13	20
24018	EL_CHOY	CIUDAD VALLES	S.L.P.	98.88	21.97	1200
24020	EL_FISCAL	S.V.TANCUAY	S.L.P.	98.59	21.73	30
24023	EL_NARANJO	EL NARANJO	S.L.P.	99.33	22.63	330
24025	EL_PUJAL	CD. VALLES	S.L.P.	98.93	21.85	50
24026	REQUETEMU_VILLA TERRAZA	AXTLA DE TERRAZAS	S.L.P.	98.90	21.43	89
24027	EL_SALTO	EL NARANJO	S.L.P.	99.43	22.60	405
24028	EL_TIGRE	CD. VALLES	S.L.P.	99.12	22.25	405
24031	GALLINAS	AQUISMON	S.L.P.	99.25	21.95	300
24035	LAGUNILLAS	LAGUNILLAS	S.L.P.	99.58	21.57	1390

Clave	Localidad	Municipio	Estado	LongW	LatN	Altitud
24036	LAS_ADJUNTAS	TAMUIN	S.L.P.	98.72	21.98	25
24037	MORITAS	CD. VALLES	S.L.P.	98.92	21.75	40
24039	MAITINEZ_(A. LA ISLA)	EL NARANJO	S.L.P.	99.28	22.38	1675
24043	MICOS	CD. VALLES	S.L.P.	99.17	22.13	2060
24049	PAPAGAYOS	CD. DEL MAIZ	S.L.P.	99.45	22.40	1300
24053	CD._SANTOS	CD. SANTOS	S.L.P.	98.97	21.62	225
24056	PONCIANO_ARRIAGA	CD. VALLES	S.L.P.	99.22	22.02	2000
24058	PRESA_PALOMAS	ALAUQUIN	S.L.P.	99.65	22.18	1210
24060	RAYON	RAYON	S.L.P.	99.65	21.85	942
24063	SAN_A. DE LOS GUAYABOS	STA. CATARINA	S.L.P.	99.48	21.68	1415
24064	SAN_DIEGUITO	CD. VALL	S.L.P.	99.22	22.02	1415
24065	SAN_FELIPE	CD. VALLES	S.L.P.	98.92	21.98	95
24068	SAN_JUAN DEL MECO	CD. MAIZ	S.L.P.	99.42	22.63	19
24072	SANTA_CRUZ	AQUISMON	S.L.P.	99.05	21.72	1200
24076	SANTA_ROSA	CD.VALLES	S.L.P.	99.05	22.02	70
24079	SANTIAGUILLO	CD. VALL	S.L.P.	99.22	22.00	2000
24080	S.L.C.A._P.ARRIAGA	VA	S.L.P.	99.08	22.02	35
24082	TAMAPATZ	AQUISMON	S.L.P.	99.12	21.62	32
24084	TANCULIN	TAMAZUCHALE	S.L.P.	99.12	21.57	100
24085	TANQUIAN	TANQUIAN DE	S.L.P.	98.65	21.62	77
24086	TANLACUT	SANTA CATARI	S.L.P.	99.32	21.68	100
24087	TANLAJAS	TANLAJAS	S.L.P.	98.87	21.67	150
24088	TANTIZOHUICHE	CD.VALL	S.L.P.	98.98	21.82	77
24090	TANZABACA	TAMASOPO	S.L.P.	99.22	21.67	120
24092	TIERRA_BLANCA	TAMAZUNCHALE	S.L.P.	98.90	21.23	150
24095	VELAZCO	TAMUIN	S.L.P.	98.57	22.20	49
24105	XILITLA	XILITLA	S.L.P.	98.98	21.40	1035
24107	EL_PEÑON	TAMUIN	S.L.P.	98.87	22.32	1890
24108	EL_TULILLO	EBANO	S.L.P.	98.68	22.28	1810
24110	OJO_DE AGUA SECO		S.L.P.	99.48	22.22	1775
24113	SAN_VICENTE	SAN VICENTE TANCUAYALAB	S.L.P.	98.62	21.68	32
24115	CARDENAS	CARDENAS (SM	S.L.P.	99.50	21.98	1202
24117	AGUA_NUEVA	TAMASOPO(D	S.L.P.	99.38	21.97	372
24122	CHAPULHUACANITO	TAMAZUNCHALE	S.L.P.	98.77	21.23	120
24123	LAS_GARZAS	CD. VALLE	S.L.P.	99.12	22.25	400
24124	SAN_JOSE DE LIMON	TAM	S.L.P.	98.68	22.00	19
24125	TLAMAYA	XILITLA	S.L.P.	98.95	21.43	150
24127	VILLA_DE ARRIAGA (SMN)		S.L.P.	99.50	21.93	2000
24131	TAMUIN	TAMUIN (AMSA)	S.L.P.			
24132	EL_NARANJO E.T.A.55 CD.	EL NARANJO	S.L.P.	99.60	22.40	1200
24133	LA_GLORIA	TANLAJAS	S.L.P.	98.78	21.82	2100
24135	E.T.A._170	TANQUIAN D	S.L.P.	98.65	21.62	77

Clave	Localidad	Municipio	Estado	LongW	LatN	Altitud
24136	TANLU_SANTA CATARINA	STA. CATARINA	S.L.P.	99.25	21.63	150
24137	VEINTE_DE NOVIEMBRE	TAMASOPO	S.L.P.	99.27	21.77	1735
24138	TAMAZUNCHALE	TAMAZUNCHALE	S.L.P.	98.79	21.23	110
24139	TAMUIN	TAMUIN	S.L.P.	98.60	22.00	22
24141	ETA.214_SAN VICENTE T.		S.L.P.	98.57	21.73	918
24149	SANTA_ELENA	TAMUIN	S.L.P.	98.85	21.88	30
24156	BUENAVISTA	CD. VALLES	S.L.P.	99.03	22.02	215
24159	LA_MORITA	CD. DEL MAI	S.L.P.	98.85	21.35	1020
24167	MATLAPA	MATLAPA	S.L.P.	98.80	21.33	133
24173	PRESA_ALVARO OBREGON	CD. MAIZ	S.L.P.	99.63	22.18	1210
24174	PUERTO_LOBOS	CD. MAIZ	S.L.P.	99.48	22.47	1210
24182	TAMPAMOLON	TAMPAMOLON	S.L.P.	98.82	21.55	100
24184	ARRIAGA	CD. VALLES	S.L.P.			
24185	CERRO_DE LA CRUZ		S.L.P.	98.63	21.48	100
24186	HUICHIHUAYAN	HUEHUETL	S.L.P.	98.97	21.47	125
24199	EL ESTRIBO	CD DEL MAI	S.L.P.	99.30	22.43	1250
24200	TEPEMICHE	SN MARTIN C	S.L.P.	98.65	21.48	100
28005	EL_REFUGIO A.ANTIGUO MO	ANTIGUO MORELOS	Tamps.	99.08	22.38	178
28011	CALLEJONES	OCAMPO (DG	Tamps.	99.50	22.87	480
28032	EL_REFUGIO	A. MORELOS	Tamps.	99.02	22.58	232
28043	LA_BOQUILLA	OCAMPO	Tamps.	99.22	22.80	250
28059	MAGUEYES	MAINERO (DGE	Tamps.	99.57	22.58	430
28066	NVO.MORELOS	NVO.MOREL	Tamps.	99.20	22.55	276
28069	OCAMPO	OCAMPO (DGE)	Tamps.	99.35	22.85	350
28097	SANTA_ELENA	MANTE (SM	Tamps.	98.93	22.53	50
28125	NUEVA_APOLONIA	MANTE	Tamps.	98.62	22.50	20
28133	LA_NORIA	GONZALEZ	Tamps.	98.78	22.55	170
28139	EL_REFUGIO	MANTE (DGE	Tamps.	98.90	22.50	220
28147	TAMESI	GONZALEZ	Tamps.	98.42	22.42	12
28174	HDA._LA UNION	MANTE	Tamps.			
28262	GALLOS_GRADES	TULA	Tamps.	99.60	22.73	1040
30046	CARDON	TEMPOAL	Ver.	98.48	21.40	60
30049	EL_HIGO	TEMPOAL	Ver.	98.45	21.78	36
30051	EL_OLIVO	PANUCO	Ver.	98.43	21.80	23
30084	LA_MICHOACANA	PANUCO	Ver.	98.20	22.30	25
30130	PLATON_SANCHEZ		Ver.	98.38	21.28	
30160	SANTA_TRINIDAD	PANUCO	Ver.	98.28	21.90	25
30176	TEMPOAL_DE SANCHEZ	TEMPOAL	Ver.	98.40	21.55	72
30203	CACALILAO	PANUCO	Ver.	98.17	22.15	30
30240	BADEAS	TEMPOAL	Ver.	98.40	21.75	

Clave	Localidad	Municipio	Estado	LongW	LatN	Altitud
30244	PLACETAS	TEMPOAL	Ver.	98.27	21.60	
30255	EL_MIRADOR	PANUCO	Ver.	98.42	22.33	
30260	TANTAVIL	TEMPOAL	Ver.	98.42	21.43	42
30285	PANUCO	PANUCO (DGE)	Ver.	98.17	22.05	60
30301	VICHINCHIJOL	PANUCO	Ver.	98.47	22.02	15
30347	EL_COROZAL	TEMPOAL	Ver.	98.55	21.55	100

Tabla A.2 Clasificación climática modificada de Köppen (García, 1988) para todo el período de estudio. Elaboración propia.

Clave	Clasificación climática	Clave	Clasificación climática	Clave	Clasificación climática
13011	Am	24056	Aw1	24149	Aw1
13021	Af(m)	24058	BS1	24156	Awo
13048	Cb(fm)	24060	BS1	24159	BW
13057	Cb(fm)	24063	Awo	24167	Am
13104	(A)Cb(m)	24064	(A)Ca(m)	24173	BSo
13140	(A)Ca(f)(w)o	24065	(A)Ca(w)1	24174	Cb(w)o
13141	(A)Ca(m)	24068	(A)Ca(w)(w)	24182	Aw2
22002	BS1	24072	Am	24185	Aw1
22007	Awo	24076	Aw1	24186	(A)Ca(fm)
22008	Awo	24079	Aw2	24199	(A)Ca(w)(w)
22019	BS1	24080	Awo	24200	Aw1
22024	Cb(w)(w)	24082	(A)Ca(fm)	28005	(A)Ca(m)(w)
24001	Aw2	24084	(A)Ca(fm)	28011	(A)Ca(m)(w)
24002	Am	24085	Aw1	28032	(A)Ca(w)(w)
24003	Af(m)	24086	Aw2	28043	(A)Ca(w)(w)
24005	Aw2	24087	Am	28059	(A)Ca(w)o
24006	BS1	24088	Aw2	28066	Awo
24009	(A)Ca(m)	24090	Aw2	28069	(A)Ca(w)(w)
24011	BS1	24092	Am(w)	28097	Awo
24012	Aw1	24095	BS1	28125	Awo
24013	BSo	24105	(A)Ca(fm)	28133	BS1
24014	(A)Ca(m)(w)	24107	Aw1	28139	(A)Ca(w)(w)
24015	Awo	24108	Awo	28147	Awo
24016	(A)Ca(m)	24110	BS1	28262	(A)Ca(w)(w)
24017	Awo	24113	Aw1	30046	(A)Ca(m)
24018	Aw1	24115	BS1	30049	Awo
24020	Awo	24117	(A)Ca(m)	30051	(A)Ca(w)o
24023	(A)Ca(m)	24122	(A)Ca(fm)	30084	BS1
24025	Aw1	24123	Aw2	30130	Aw1
24026	Am	24124	Awo	30160	(A)Ca(w)o
24027	(A)Ca(m)	24125	(A)Ca(fm)	30176	(A)Ca(m)
24028	(A)Ca(w)(w)	24127	BS1	30203	(A)Ca(w)o

24031	(A)Ca(m)(w)	24132	(A)Ca(w)(w)	30240	Aw1
24035	BS1	24133	Aw1	30244	(A)Ca(w)1
24036	Awo	24135	(A)Ca(w)1	30255	BS1
24037	(A)Ca(m)	24136	Awo	30260	(A)Ca(w)1
24039	(A)Ca(w)(w)	24137	(A)Ca(m)(w)	30285	(A)Ca(w)o
24043	(A)Ca(m)	24138	Aw2	30301	Awo
24049	(A)Ca(m)(w)	24139	Awo	30347	(A)Ca(w)o
24053	Am	24141	(A)Ca(w)1		

Tabla A.3 Clasificación climática por períodos de análisis y sus cambios en temperatura y humedad. Elaboración propia.

Clave	Localidad	Municipio	61-73	73-85	85-00	Temp	Hum
24001	AGUA_BUE NA	TAMASOPO	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)	Aw2	>	<
24002	ALTAMIRA	CD. SANTOS	Aw2	Am	Am		>
24003	AQUISMON	AQUISMON	Am	Af(m)	Am		
24005	BALLESMI	CD. VALLES	Aw2	Aw2	Aw2		
24009	S._MARTIN CHALCHI		(A)Ca(m)	(A)Ca(m)	Aw2	>	<
24012	CIUDAD_V ALLES	CD.VALL	(A)Ca(w)1	SinClas	Aw1	>	<
24014	DAMIAN_C ARMONA	TAMASO	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)(w)	Aw2	>	<
24015	EBANO	EBANO	(A)Ca(w)o	Awo	BS1	>	<
24016	EJIDO_ABR ITAS	EL NARANJO	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)(w)		
24017	EL_COOCO	TAMUIN	Awo	Awo	BS1	>	<
24018	EL_CHOY	CIUDAD VALLES	Aw1	Aw1	Aw1		
24020	EL_FISCAL	S.V.TANCU AY	Aw1	Aw1	Awo		<
24023	EL_NARAN JO	(DGE)	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)	(A)Ca(w)(w)		
24025	EL_PUJAL	CD. VALLES	Aw1	Aw2	Aw1		
24026	REQUETE MU_VILLA TERRAZA	AXTLA DE TERRAZAS	Am	Am	Am		
24027	EL_SALTO	EL NARANJO	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)(w)		
24028	EL_TIGRE	CD. VALLES	(A)Ca(w)(w)	(A)Ca(w)(w)	Awo	>	<
24031	GALLINAS	AQUISMON	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)(w)	Aw2	>	<
24036	LAS_ADJU NTAS	TAMUIN	Awo	Awo	Awo		
24037	MORITAS	CD. VALLES	Aw2	SinClas	Cb(m)	<	>

Clave	Localidad	Municipio	61-73	73-85	85-00	Temp	Hum
24039	MAITINEZ_(A. LA ISLA)	EL NARANJO	(A)Ca(w)(w)	Aw1	(A)Ca(w)(w)		
24043	MICOS	CD. VALLES	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)(w)		
24053	CD._SANTOS	CD. SANTOS	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)	Am		
24056	PONCIANO_ARRIAGA	CD. VALLES	(A)Ca(w)(w)	(A)Ca(w)(w)	Awo		<
24064	SAN_DIEGUITO	CD. VALLES	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(w)(w)		<
24065	SAN_FELIPE	CD. VALLES	SinClas	SinClas	(A)Ca(w)1		
24072	SANTA_CRUZ	AQUISMON	Am	(A)Ca(fm)	Am		
24076	SANTA_ROSA	CD. VALLES	Aw1	Aw1	Aw1		
24079	SANTIAGUILLO	CD. VALLES	SinClas	SinClas	Aw1		
24080	S.L.C.A._P. ARRIAGA	VA	SinClas	SinClas	Awo		
24082	TAMAPATZ	AQUISMON	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)		
24084	TANCULIN	TAMAZUCHALE	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)		
24085	TANQUIAN	TANQUIAN DE ESCOBEDO	(A)Ca(m)	Aw1	Aw1	>	<
24087	TANLAJAS	TANLAJAS	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)	Am	>	
24088	TANTIZOHUICHE	CD.VALL	Aw2	(A)Ca(m)	Aw2		
24090	TANZABACA	TAMASOPO	Aw2	Aw2	Aw2		
24092	TIERRA_BLANCA		(A)Ca(m)	(A)Ca(m)(w)	Aw2	>	<
24095	VELAZCO	TAMUIN	Awo	Awo	BS1	>	<
24105	XILITLA	XILITLA	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)		
24107	EL_PEÑON	TAMUIN	Aw2	(A)Ca(w)(w)	Aw1		<
24108	EL_TULILLO	EBANO	(A)Ca(w)1	Awo	Awo	>	<
24110	OJO_DE AGUA SECO		BS1	BS1	BS1		
24113	SAN_VICENTE		(A)Ca(w)(w)	(A)Ca(w)1	Aw1	>	
24117	AGUA_NUEVA	TAMASOPO(D)	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)	(A)Ca(m)(w)		
24122	CHAPULHUACANITO		(A)Ca(m)	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)		
24123	LAS_GARZAS	CD. VALLE	(A)Ca(w)(w)	Aw2	SinClas		

Clave	Localidad	Municipio	61-73	73-85	85-00	Temp	Hum
24124	SAN_JOSE DE LIMON	TAMUÍN	Awo	Awo	SinClas		
24125	TLAMAYA	XILITLA	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(fm)	(A)Ca(fm)		
24131	TAMUIN	TAMUIN (AMSA)	SinClas	SinClas	SinClas		
24132	EL_NARANJO E.T.A.55 CD.		(A)Ca(w)2	(A)Ca(w)(w)	(A)Ca(w)(w)		
24133	LA_GLORIA	TANLAJAS	Aw1	(A)Ca(m)	Aw1		
24135	E.T.A._170	TANQUIAN DE ESCOBEDO	Aw2	(A)Ca(w)1	SinClas		
24137	VEINTE_DE NOVIEMBRE		(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)(w)	(A)Ca(m)(w)		
24138	TAMAZUNCHALE		SinClas	Am	Aw2		<
24139	TAMUIN	TAMUIN	SinClas	(A)Ca(w)o	Awo		<
24141	ETA.214_SAN VICENTE T.		SinClas	(A)Ca(w)1	SinClas		
24149	SANTA_EL ENA	TAMUIN	SinClas	Awo	Aw1		>
24156	BUENAVISTA	CD. VALLES	SinClas	BS1	Awo		>
24167	MATLAPA	MATLAPA	SinClas	SinClasificacion	Am		
24182	TAMPAMOLON	TAMPAMOLON	SinClas	Aw1	Aw2		>
24184	ARRIAGA	CD. VALLES	SinClas	SinClas	SinClas		
24185	CERRO_DE LA CRUZ		SinClas	Aw1	SinClas		
24186	HUICHIHUYAN	HUEHUETLÁN	SinClas	(A)Ca(fm)	Am		
24200	TEPEMICHE	SN MARTIN C	SinClas	(A)Ca(m)	Aw1		

Tabla A.4 Resumen mensual de aparición de El Niño y La Niña. Tabla de elaboración propia a partir de datos recopilados por Contreras en trabajo inédito a partir de Jorge Amador, Kevin E. Trenberth, Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú y del Centro de Predicción Climática de EEUU.

Año	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1950			♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1951	♀	♀										

Año	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1953			♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂		
1954							♀	♀	♀	♀	♀	♀
1955	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1956	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1957	♀	♀	♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀	♂ / ♀
1958	♂	♂	♂									
1963						♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1964	♂	♂			♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1965	♀				♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1966	♂	♂	♂	♂	♂	♂						
1970							♀	♀	♀	♀	♀	♀
1971	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1972	♀			♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1973	♂	♂	♂			♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1974	♀	♀	♀	♀	♀	♀						
1975		♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1976	♀	♀	♀	♀				♂	♂	♂	♂	♂
1977	♂	♂	♂				♂	♂	♂	♂	♂	♂
1978	♂											
1982				♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1983	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂					
1986								♂	♂	♂	♂	♂
1987	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1988	♂	♂				♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
1989	♀	♀	♀	♀	♀	♀						
1991			♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1992	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂					
1993		♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂			
1994						♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1995	♂	♂	♂							♀	♀	♀
1996	♀	♀	♀									
1997				♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
1998	♂	♂	♂			♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀

Año	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1999	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀
2000	♀	♀	♀	♀	♀	♀						
2002					♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂	♂
2003	♂	♂	♂									
2007	♂	♂										

Simbología: ♂ = El Niño; ♀ = La Niña.

Anexo B

En este anexo se presenta un extracto del código *CalculoClimatico* y *ClasificacionClimatica*. El primero realiza los cálculos más importantes, ayudado por otros códigos que realizan tareas pequeñas. El segundo es el código que se encarga de la clasificación climática de Köppen modificada por García (1988), el cual es llamado por *CalculoClimatico*.

CalculoClimatico

```
% function CalculoClimatico (Fecha_I, Fecha_F)
% Ejemplo: CalculoClimatico (1969,1997)
% Se pide: Escribe la clave de la estacion que quieres analizar (5
% digitos) : ejemplo: 24001
% Este programa analiza los datos guardados en
% D:\ClimaHuasteca\DatosProcesados\, que llevan la clave de la estacion y
% el parametro solicitado:
% 24001P = precipitacion
% 24001T = temperaturas medias diarias
% 24001TMX = temperaturas maximas diarias
% 24001TMN = temperaturas minimas diarias

% Con esta funcion, se elige el periodo de tiempo para el cual se quieren
% hacer calculos con los parametros climaticos que ya estan convertidos a
% archivo .mat. Luego se pide la clave de la estacion y se introduce como
% estas estan registradas en la CNA, con 5 digitos.
% Al final se obtienen las precipitaciones mensuales por año, los promedios
% mensuales en todos los años, las anuales por año y la anual de todos los
% años. Para temperaturas medias, minimas y maximas se obtiene lo mismo.
% Para precipitacion se obtiene el porcentaje de lluvia en invierno
% (Precipitacion en invierno / precipitacion en todo el año) y para
% temperatura observada se obtiene la oscilacion (temperatura mas alta
% menos la mas baja de las temperaturas observadas)

function [Resultados, PrecipitacionesMensualesPorFecha,
    PrecipitacionesSemanalesPorFecha, Moda, TemperaturasMensualesPorFecha,
    CoordenadasP, LongitudOeste, LatitudNorte,...
    PAFechas, TMDFechas, MinFechas, MaxFechas, ISFechas, ISFechas5,
    FechasArribaModa, FechasDebajoModa, AnomaliasFechas,...
    Localidad, Municipio, Estado, Altitud, Clasificacion, HomS,
    PrecipitacionesMensualesConFecha] = CalculoClimaticoMod (Estacion, EstacionStr,
    Fecha_I, Fecha_F, Graficar, DiscoRaiz, Region)
if exist('Fecha_I')~=1,
    Fecha_I = str2num(input("\n Fecha del primer registro a utilizar: (1905-2005) [1905] = ',
    's'));
if isempty(Fecha_I),
```

```

    Fecha_I = 1905;
end
end
if exist('Fecha_F')~=1,
    Fecha_F = str2num(input('\n Fecha del ultimo registro a utilizar: (1905-2005) [2005] = ',
        's'));
    if isempty(Fecha_F),
        Fecha_F = 2005;
    end
end
end
if exist('DiscoRaiz')~=1,
    DiscoRaiz = input ('\n En que disco duro estas trabajando? [Default: F:] :');
    if isempty(DiscoRaiz),
        DiscoRaiz = 'F:.';
    end
end
end
if exist('Region')~=1,
    Region = input ('\n Escribe el nombre de la region que quieres analizar, utiliza comillas
        sencillas = \n');
end
RutaExtraccionRegistros = [DiscoRaiz, '\CalculoClimatico\DatosFormateados\', Region];

RutaResultados = [DiscoRaiz, '\CalculoClimatico\Resultados\'];
RutaResultadosRegion = [RutaResultados, Region, 'Resultados'];
if exist(RutaResultados) ~= 7,
    mkdir (DiscoRaiz, '\CalculoClimatico\Resultados\');
    RutaResultados = ([DiscoRaiz, '\CalculoClimatico\Resultados\']);
end
RegionResultados = ([Region, 'Resultados']);
if exist(RutaResultadosRegion) ~= 7,
    mkdir (RutaResultados, RegionResultados);
    RutaResultadosRegion = ([RutaResultados Region, 'Resultados']);
end
if exist('Estacion')~=1,
    Estacion = input ('\n Escribe la clave de la estacion que quieres analizar (5 digitos) :');
end
if exist('Estacion_str')~=1,
    EstacionStr = num2str(Estacion);
end
if exist('Graficar')~=1,
    Graficar = input ('\n Quieres graficar temperaturas y precipitaciones para cada estacion
        (S/N) [N] :');
    % if Graficar == 'S';
    %     Graficar = 1;
    % end
    if isempty(Graficar),
        Graficar = 0;
    end
end
end

```

```
FilePath = [RutaExtraccionRegistros];
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Comienza el ciclo calculando la precipitacion en la estacion solicitada.
```

```
j = 1;
```

```
for i = Fecha_I:Fecha_F,
```

```
    Fecha = i;
```

```
    FechaStr = num2str.Fecha);
```

```
    EstacionParametro = [EstacionStr 'P'];
```

```
    Archivo = [FilePath '\ EstacionStr '\ EstacionParametro '_' FechaStr '.mat'];
```

```
    if exist(Archivo),
```

```
        [PMIncomp, LongitudOeste, LatitudNorte, Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio,
         Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre]...
```

```
        = ValidarMesesMod (FilePath, Estacion, EstacionStr, EstacionParametro,
         FechaStr);
```

```
        % Coloca los datos de cada mes para todos los años en una matriz
```

```
        PEnero (:,j)= Enero';    PFebrero (:,j)= Febrero';    PMarzo (:,j)= Marzo';
```

```
        PAbril (:,j)= Abril';
```

```
        PMayo (:,j)= Mayo';    PJunio (:,j)= Junio';    PJulio (:,j)= Julio';
```

```
        PAgosto (:,j)= Agosto';
```

```
        PSeptiembre (:,j)= Septiembre';    POctubre (:,j)= Octubre';    PNoviembre (:,j)=
         Noviembre';    PDiciembre (:,j)= Diciembre';
```

```
        % Aqui se guarda un vector con las precipitaciones anuales por año.
```

```
        % Serviran luego para calcular el promedio de precipitacion anual.
```

```
        PrecipitacionesAnuales (:,j) = sum_with_nan([sum_with_nan(Enero')
         sum_with_nan(Febrero') sum_with_nan(Marzo') sum_with_nan(Abril')...
         sum_with_nan(Mayo') sum_with_nan(Junio') sum_with_nan(Julio')
         sum_with_nan(Agosto')...
         sum_with_nan(Septiembre') sum_with_nan(Octubre')
         sum_with_nan(Noviembre') sum_with_nan(Diciembre)']);
```

```
        % Convertir todo en NaNs si hay mas de 7 meses sin datos.
```

```
        if PMIncomp >= 6,
```

```
            PEnero (:,j)= NaN;    PFebrero (:,j)= NaN;    PMarzo (:,j)= NaN;    PAbril (:,j)=
             NaN;
```

```
            PMayo (:,j)= NaN;    PJunio (:,j)= NaN;    PJulio (:,j)= NaN;    PAgosto (:,j)=
             NaN;
```

```
            PSeptiembre (:,j)= NaN;    POctubre (:,j)= NaN;    PNoviembre (:,j)= NaN;
```

```
            PDiciembre (:,j)= NaN;
```

```
            PrecipitacionesAnuales (:,j) = NaN;
```

```
            Fecha = NaN;
```

```
        end
```

```
        PMIncompRegistro (j) = PMIncomp;
```

```
        FechasP (j) = Fecha;
```

```
        CoordenadasP = [LongitudOeste LatitudNorte];
```

```
        j = j+1;
```

```
    end
```

```
end
```

```
% Si no hay datos para este parametro entonces los hacemos NaNs.
```

```
if exist('FechasP')~=1,
```

```

FechasP = NaN;
PEnero   = NaN; PFebrero = NaN; PMarzo   = NaN;  PAbril   = NaN;
PMayo    = NaN; PJunio   = NaN; PJulio   = NaN;  PAgosto = NaN;
PSeptiembre = NaN; POctubre = NaN; PNoviembre = NaN;  PDiciembre = NaN;
PrecipitacionesAnuales = NaN;
end
% Estas lineas encuentran los años que han sido convertidos en NaNs por no
% tener 7 meses de datos. Asi tendremos una lista adecuada de los que
% cumplen con el requisito. Esto hace que las graficas por estacion con
% datos anuales este correcta, pero al momento de ver las graficas
% mensuales hay que recordar que el dato de años con registro corresponde
% a años completos. Esto hace que no coincidan las grafica mensuales
FechasPIncomp = length(find(isnan(FechasP)));
IndiceNaN = find(~isnan(FechasP));
FechasP = FechasP(IndiceNaN);
PrecipitacionesAnuales = PrecipitacionesAnuales(IndiceNaN);
PEnero = PEnero(:,IndiceNaN);  PFebrero = PFebrero(:,IndiceNaN);  PMarzo =
    PMarzo(:,IndiceNaN);
PAbril = PAbril(:,IndiceNaN);  PMayo = PMayo(:,IndiceNaN);      PJunio =
    PJunio(:,IndiceNaN);
PJulio = PJulio(:,IndiceNaN);  PAgosto = PAgosto(:,IndiceNaN);  PSeptiembre =
    PSeptiembre(:,IndiceNaN);
POctubre = POctubre(:,IndiceNaN); PNoviembre = PNoviembre(:,IndiceNaN);
    PDiciembre = PDiciembre(:,IndiceNaN);
if isempty(PrecipitacionesAnuales), %Se tiene que hacer NaN otra vez si no hay registros
    y queda vacio
    PEnero = NaN;  PFebrero = NaN;  PMarzo = NaN;
    PAbril = NaN;  PMayo = NaN;  PJunio = NaN;
    PJulio = NaN;  PAgosto = NaN;  PSeptiembre = NaN;
    POctubre = NaN;  PNoviembre = NaN;  PDiciembre = NaN;
    PrecipitacionesAnuales = NaN;
    FechasP = 0;
end
% Se crea una matriz con precipitaciones por semana para cada año.
if FechasP==0,
    Fechas = 1;
    PrecDiariasPorFecha = NaN;
    PrecSemanal = NaN;
    PrecipitacionesSemanalesPorFecha = NaN;
else
j = 1;
k = 1;
for i = 1:length(FechasP),
    PrecDiariasPorFecha = [PEnero([1:31],i)' PFebrero([1:28],i)' PMarzo([1:31],i)'
        PAbril([1:30],i)' PMayo([1:31],i)' PJunio([1:30],i)'...
        PJulio([1:31],i)' PAgosto([1:31],i)' PSeptiembre([1:30],i)' POctubre([1:31],i)'
        PNoviembre([1:30],i)' PDiciembre([1:31],i)'];
    while j <= 52,
        if j == 52,

```

```

        PrecSemanal (j) = sum_with_nan(PrecDiariasPorFecha(k:end));
        j = j + 1;
    else
        PrecSemanal (j) = sum_with_nan(PrecDiariasPorFecha(k:(k+6)));
        j = j + 1;
        k = k + 7;
    end
end
j = 1;
k = 1;
PrecipitacionesSemanalesPorFecha (i,:) = PrecSemanal;
clear PrecDiariasPorFecha;
clear PrecSemanal;
end
end
% Crea una matriz con los años y las precipitaciones anuales que le
% corresponden.
PAFechas = [FechasP' PrecipitacionesAnuales'];
% Se forma un vector con las precipitaciones mensuales por año.
PMAEnero = sum_with_nan(PEnero); PMAFebrero = sum_with_nan(PFebrero);
PMAMarzo = sum_with_nan(PMarzo); PMAAbril = sum_with_nan(PAbril);
PMAMayo = sum_with_nan(PMayo); PMAJunio = sum_with_nan(PJunio);
PMAJulio = sum_with_nan(PJulio); PMAAgosto = sum_with_nan(PAgosto);
PMASeptiembre = sum_with_nan(PSeptiembre); PMAOctubre =
    sum_with_nan(POctubre);
PMANoviembre = sum_with_nan(PNoviembre); PMADiciembre =
    sum_with_nan(PDiciembre);
% if FechasP~=0
% % Se quitan los registros mensuales donde ya nos dimos cuenta que no hay 7 o mas
% % meses con datos.
% PMAEnero = PMAEnero(IndiceNaN) ; PMAFebrero = PMAFebrero(IndiceNaN) ;
% PMAMarzo = PMAMarzo(IndiceNaN) ; PMAAbril = PMAAbril(IndiceNaN) ;
% PMAMayo = PMAMayo(IndiceNaN) ; PMAJunio = PMAJunio(IndiceNaN) ;
% PMAJulio = PMAJulio(IndiceNaN) ; PMAAgosto = PMAAgosto(IndiceNaN) ;
% PMASeptiembre = PMASeptiembre(IndiceNaN) ; PMAOctubre =
    PMAOctubre(IndiceNaN) ;
% PMANoviembre = PMANoviembre(IndiceNaN) ; PMADiciembre =
    PMADiciembre(IndiceNaN) ;
% end
% Calcula la precipitacion total por mes, promediada en todos los años con
% registro.
PtPEnero = Av_RMS(PMAEnero); PtPFebrero = Av_RMS(PMAFebrero);
PtPMarzo = Av_RMS(PMAMarzo); PtPAbril = Av_RMS(PMAAbril);
PtPMayo = Av_RMS(PMAMayo); PtPJunio = Av_RMS(PMAJunio);
PtPJulio = Av_RMS(PMAJulio); PtPAgosto = Av_RMS(PMAAgosto);
PtPSeptiembre = Av_RMS(PMASeptiembre); PtPOctubre = Av_RMS(PMAOctubre);
PtPNoviembre = Av_RMS(PMANoviembre); PtPDiciembre = Av_RMS(PMADiciembre);
% Crea una matriz con las precipitaciones para cada mes y cada año en
% columnas a manera que pueda ser graficada facilmente seleccionando en

```

```

% cada caso una columna para cada mes.
PrecipitacionesMensualesPorFecha = [PMAEnero' PMAFebrero' PMAMarzo' PMAAbril'
    PMAMayo' PMAJunio' PMAJulio' PMAAgosto' PMASeptiembre' PMAOctubre'
    PMANoviembre' PMADiciembre'];
% Crea un vector con los promedios para cada mes y calcula los promedios
% por temporada, para todos los años
PrecipitacionesMensuales = Av_RMS (PrecipitacionesMensualesPorFecha);
% Crea una matriz donde se agrega la primera columna con las fechas
% existentes para la estacion
PrecipitacionesMensualesConFecha = [PAFechas(:,1)
    PrecipitacionesMensualesPorFecha];
% El promedio de precipitacion anual es mas correcto si se utilizan los
% promedios de precipitaciones mensuales (segun Garcia (1988)).
PromedioPrecipitacionAnual = sum_with_nan (PrecipitacionesMensuales');
InviernoP = sum_with_nan ([PtPEnero PtPFebrero PtPMarzo]');
PrimaveraP = sum_with_nan ([PtPAbril PtPMayo PtPJunio]');
VeranoP = sum_with_nan ([PtPJulio PtPAgosto PtPSeptiembre]');
OtonoP = sum_with_nan ([PtPOctubre PtPNoviembre PtPDiciembre]');
% Calculo de homogeneidad por la prueba de Helmert. Esta se realiza con las
% precipitaciones anuales.
for i=1:(length(PrecipitacionesAnuales)),
    Dif = PromedioPrecipitacionAnual-PrecipitacionesAnuales;
    S = length(find(Dif>0));
    C = length(find(Dif<0));
end
if abs(S-C)<=sqrt(S+C),
    Hom = 'Homogenea';
    HomS = 1;
else
    Hom = 'No Homogenea';
    HomS = 0;
end
% Se calcula el porcentaje de precipitacion en invierno con respecto
% del total del año.
PorcentajeInviernoP = (InviernoP/PromedioPrecipitacionAnual)*100;
% Se calcula el indice de severidad de la sequia IS (Garcia, 1977).
% Esta es la sequia meteorologica que se usara para cartografiar los niveles de
% severidad de la sequia para el periodo de años abtenidos o para una seleccion
% de años especificos. PMA = precipitaciones mensuales por año, PMd =
% precipitacion media o normal.
for i = 1:length(find(FechasP)), % Crea una matriz formada por renglones de años con
    todas sus lluvias mensuales
    PMA = [PMAEnero(i) PMAFebrero(i) PMAMarzo(i) PMAAbril(i)...
        PMAMayo(i) PMAJunio(i) PMAJulio(i) PMAAgosto(i)...
        PMASeptiembre(i) PMAOctubre(i) PMANoviembre(i) PMADiciembre(i)];
    Indice = find(PMA < PrecipitacionesMensuales); % No toma en cuenta donde hay
    NaNs. No se deben tomar en cuenta.
    if isempty(Indice), % Esto pasa si no hay mes que sea menor a la normal. Entonces se
    suman todos y se calcula la formula dando como resultado un indice positivo.

```

```

    SumPMA = sum_with_nan(PMA');
    SumPMd = sum_with_nan(PrecipitacionesMensuales');
else
    SumPMA = sum_with_nan(PMA(Indice));
    SumPMd = sum_with_nan(PrecipitacionesMensuales(Indice));
end
IS (i) = (SumPMA-SumPMd)/SumPMd;
end
if FechasP == 0;
    IS = NaN; ISFechas = NaN;
    ISFechas5 = NaN;
else
    IS = IS(find(~isnan(IS)));
    ISFechas = [FechasP' IS'];
    % Los dos renglones siguientes se utilizan para mandar al archivo .txt
    % solamente los indices que se pidan, como los mayores a 0.5.
    Indice = find(abs(IS)>=0.5);
    ISFechas5 = [FechasP(Indice)' IS(Indice)'];
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Comienza el segundo ciclo para calcular la temperatura media de la estacion
% solicitada.
j = 1;
for i = Fecha_I:Fecha_F,
    Fecha = i;
    FechaStr = num2str(Fecha);
    EstacionParametro = [EstacionStr 'TMD'];
    Archivo = [FilePath '\' EstacionStr '\' EstacionParametro '_' FechaStr '.mat'];
    if exist(Archivo),
        [TMIncomp, LongitudOeste, LatitudNorte, Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio,
        Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre]...
        = ValidarMesesMod (FilePath, Estacion, EstacionStr, EstacionParametro,
        FechaStr);
        % Coloca los datos de cada mes para todos los años en una matriz
        TEnero (:,j)= Enero';    TFebrero (:,j)= Febrero';    TMarzo (:,j)= Marzo';
        TAbriel (:,j)= Abril';
        TMayo (:,j)= Mayo';    TJunio (:,j)= Junio';    TJulio (:,j)= Julio';    TAgosto
        (:,j)= Agosto';
        TSeptiembre (:,j)= Septiembre';    TOctubre (:,j)= Octubre';    TNoviembre(:,j)=
        Noviembre';    TDiciembre (:,j)= Diciembre';
        % Aqui se guarda un vector con las precipitaciones anuales por año.
        % Serviran luego para calcular el promedio de precipitacion anual.
        TemperaturasAnuales (:,j) = Av_RMS([Av_RMS(Enero) Av_RMS(Febrero)
        Av_RMS(Marzo) Av_RMS(Abril)...
        Av_RMS(Mayo) Av_RMS(Junio) Av_RMS(Julio) Av_RMS(Agosto)...
        Av_RMS(Septiembre) Av_RMS(Octubre) Av_RMS(Noviembre)
        Av_RMS(Diciembre)]);
        % Convertir todo en NaNs si hay mas de 7 meses sin datos.

```

```

    if TMIncomp >= 6,
        TEnero (:,j)= NaN; TFebrero (:,j)= NaN; TMarzo (:,j)= NaN; TAbril (:,j)=
        NaN;
        TMayo (:,j)= NaN; TJunio (:,j)= NaN; TJulio (:,j)= NaN; TAgosto (:,j)=
        NaN;
        TSeptiembre (:,j)= NaN; TOctubre (:,j)= NaN; TNoviembre (:,j)= NaN;
        TDiciembre (:,j)= NaN;
        TemperaturasAnuales (:,j) = NaN;
        Fecha = NaN;
    end
    TMIncompRegistro (j) = TMIncomp;
    FechasT (j) = Fecha;
    j = j+1;
end
end
% Si no hay datos para este parametro entonces los hacemos NaNs
if exist('FechasT')~=1,
    FechasT = NaN;
    TEnero = NaN; TFebrero = NaN; TMarzo = NaN; TAbril = NaN;
    TMayo = NaN; TJunio = NaN; TJulio = NaN; TAgosto = NaN;
    TSeptiembre = NaN; TOctubre = NaN; TNoviembre = NaN; TDiciembre = NaN;
    TemperaturasAnuales = NaN;
end
% Esta linea encuentra los años que han sido convertidos en NaNs por no
% tener 7 meses con datos. Asi tendremos una lista adecuada de los que
% cumplen con el requisito.
FechasTIncomp = length(find(isnan(FechasT)));
Indice = (find(~isnan(FechasT)));
FechasT = FechasT(Indice);
TemperaturasAnuales = TemperaturasAnuales(Indice);
TEnero = TEnero(:,Indice); TFebrero = TFebrero(:,Indice); TMarzo =
    TMarzo(:,Indice);
TAbril = TAbril(:,Indice); TMayo = TMayo(:,Indice); TJunio = TJunio(:,Indice);
TJulio = TJulio(:,Indice); TAgosto = TAgosto(:,Indice); TSeptiembre =
    TSeptiembre(:,Indice);
TOctubre = TOctubre(:,Indice); TNoviembre = TNoviembre(:,Indice); TDiciembre =
    TDiciembre(:,Indice);
if isempty(TemperaturasAnuales), %Se tiene que hacer NaN otra vez si no hay registros y
    queda vacio
    TEnero = NaN; TFebrero = NaN; TMarzo = NaN;
    TAbril = NaN; TMayo = NaN; TJunio = NaN;
    TJulio = NaN; TAgosto = NaN; TSeptiembre = NaN;
    TOctubre = NaN; TNoviembre = NaN; TDiciembre = NaN;
    TemperaturasAnuales = NaN;
    FechasT = 0;
end
% Se crea una matriz con temperaturas medias por semana para cada año.
if FechasT==0,
    Fechas = 1;

```

```

TempDiariasPorFecha = NaN;
TempSemanal = NaN;
TemperaturasSemanalesPorFecha = NaN;
else
j = 1;
k = 1;
for i = 1:length(FechasT),
TempDiariasPorFecha = [TEnero([1:31],i)' TFebrero([1:28],i)' TMarzo([1:31],i)'
TAbri([1:30],i)' TMayo([1:31],i)' TJunio([1:30],i)'...
TJulio([1:31],i)' TAgosto([1:31],i)' TSeptiembre([1:30],i)' TOctubre([1:31],i)'
TNoviembre([1:30],i)' TDiciembre([1:31],i)'];
while j <= 52,
if j == 52,
TempSemanal (j) = Av_RMS(TempDiariasPorFecha(k:end));
j = j + 1;
else
TempSemanal (j) = Av_RMS(TempDiariasPorFecha(k:(k+6)));
j = j + 1;
k = k + 7;
end
end
j = 1;
k = 1;
TemperaturasSemanalesPorFecha (i,:) = TempSemanal;
clear TempDiariasPorFecha;
clear TempSemanal;
end
end
% Se calculan las temperaturas medias semanales.
if isnan(TemperaturasSemanalesPorFecha),
TemperaturasMediasSemanales = NaN;
else
TemperaturasMediasSemanales = Av_RMS(TemperaturasSemanalesPorFecha');
end
% Con Av_RMS se calculan promedios aunque el vector contenga NaNs,
% simplemente no los usa. La funcion de Matlab para promedios no
% puede sacarlo con los NaNs. Este promedio corresponde a los promedios
% mensuales por mes.
PTenero = Av_RMS (TEnero'); PTFebrero = Av_RMS (TFebrero');
PTMarzo = Av_RMS (TMarzo'); PTAbril = Av_RMS (TAbri');
PTMayo = Av_RMS (TMayo'); PTJunio = Av_RMS (TJunio');
PTJulio = Av_RMS (TJulio'); PTAgosto = Av_RMS (TAgosto');
PTSeptiembre = Av_RMS (TSeptiembre'); PTOctubre = Av_RMS (TOctubre');
PTNoviembre = Av_RMS (TNoviembre'); PTDiciembre = Av_RMS (TDiciembre');

% Calcula los promedios por mes para todos los años con registro
PtTEnero = Av_RMS (PTenero); PtTFebrero = Av_RMS (PTFebrero);
PtTMarzo = Av_RMS (PTMarzo); PtTAbril = Av_RMS (PTAbril);
PtTMayo = Av_RMS (PTMayo); PtTJunio = Av_RMS (PTJunio);

```

```

PtTJulio = Av_RMS (PTJulio); PtTAgosto = Av_RMS (PTAgosto);
PtTSeptiembre = Av_RMS (PTSeptiembre); PtTOctubre = Av_RMS (PTOctubre);
PtTNoviembre = Av_RMS (PTNoviembre); PtTDiciembre = Av_RMS (PTDiciembre);
% Crea una matriz con las temperaturas medias para cada mes y cada año en
% columnas a manera que pueda ser graficada facilmente seleccionando en
% cada caso una columna para cada mes.
TemperaturasMensualesPorFecha = [PTenero' PTFebrero' PTMarzo' PTAbril' PTMayo'
PTJunio'...
PTJulio' PTAgosto' PTSeptiembre' PTOctubre' PTNoviembre' PTDiciembre'];
% Crea un vector con los promedios para cada mes y calcula los promedios
% por temporada, para todos los años
PromediosMensualesT = Av_RMS (TemperaturasMensualesPorFecha');
InviernoT = Av_RMS ([PtTEnero PtTFebrero PtTMarzo]);
PrimaveraT = Av_RMS ([PtTAbril PtTMayo PtTJunio]);
VeranoT = Av_RMS ([PtTJulio PtTAgosto PtTSeptiembre]);
OtonoT = Av_RMS ([PtTOctubre PtTNoviembre PtTDiciembre]);
PromedioTemperaturaAnual = Av_RMS (PromediosMensualesT);
% Calcula la oscilacion de la temperatura (la resta de la
% temperatura mas alta menos la mas baja de los promedios de los
% meses de todos los registros). Esto sera util para el sistema
% modificado de clasificacion climatica de Koppen
Oscilacion = (max(PromediosMensualesT)-min(PromediosMensualesT));
[Clasificacion] = ClasificacionClimatica (FechasT, PromediosMensualesT,
PrecipitacionesMensuales);
* Nota: no se presenta el proceso para los cálculos de temperaturas mínimas y máximas
porque es muy similar al de temperaturas medias.
% Se crea una matriz que contenga el ciclo
% de 1905-2005 en una columna y en otra
% temperaturas minimas y maximas anuales.
TMDFechas = [FechasT' TemperaturasAnuales'];
MinFechas = [FechasTMin' TemperaturasMinAnuales'];
MaxFechas = [FechasTMax' TemperaturasMaxAnuales'];

%% Se realizan diversas acciones: crear un vector con todos los datos calculados
%% para precipitación y otro para temperatura, según el orden dado por García
%% (1988).
DatosT = [min(FechasT) max(FechasT) RegistrosT];
EstacionalT = [PrimaveraT VeranoT OtonoT InviernoT];
DatosP = [Estacion min(FechasP) max(FechasP) RegistrosP CoordenadasP];
EstacionalP = [PrimaveraP VeranoP OtonoP InviernoP];
%% Se calcula la moda de precipitación ajustada a la función gamma incompleta
%% según Mosiño y García (1981) y las anomalias de precipitacion
%% segun Enriqueta Garcia y Ma Engracia Hernandez
%% (Revista de Geografia, Vol II, No. 3, 1988)
Moda = PromedioPrecipitacionAnual -
((std(PrecipitacionesAnuales)).^2./PromedioPrecipitacionAnual);
AnomaliasAnuales = ((PrecipitacionesAnuales - Moda)./Moda).*100;
AnomaliasFechas = [FechasP' AnomaliasAnuales'];

```

```

ResultadosPrecipitacion = [DatosP PrecipitacionesMensuales
PromedioPrecipitacionAnual Moda EstacionalP PorcentajeInviernoP NaN NaN NaN
NaN NaN];
Registros = [EstacionStr ',' num2str(RegistrosP) ',' ColorRegistroP ','
num2str(RegistrosT) ',' ColorRegistroT];
ResultadosTemperatura = [NaN DatosT NaN NaN PromediosMensualesT
PromedioTemperaturaAnual NaN EstacionalT NaN Oscilacion TMaxHistorica
FechaTMaxHistorica TMinHistorica FechaTMinHistorica];
Resultados = [ResultadosPrecipitacion' ResultadosTemperatura'];
ResultadosTxt = num2str(Resultados);
Nombre_MatrizResumen = [RutaExtraccionRegistros '\Listado' Region '_P'];
[Estado, Municipio, Localidad, LongitudOeste, LatitudNorte, Altitud] =
LecturaClavesYNombres(DiscoRaiz, Region, Estacion, EstacionStr);
DatosEstaciones = [Estado, '', Municipio, '', Localidad, '', num2str(LongitudOeste), '
', num2str(LatitudNorte), '', num2str(Altitud)];
% Encuentra los años con precipitaciones que
% esten 25% por arriba de la moda y 25% por
% debajo de esta.
EstacionStr
Index = find (PrecipitacionesAnuales>=(Moda*1.25));
FechasArribaModa = FechasP (Index);
Index = find (PrecipitacionesAnuales<=(Moda*.75));
FechasDebajoModa = FechasP (Index);
RegistrosPArribaModa = length(find(PrecipitacionesAnuales>Moda));
RegistrosPAbajoModa = length(find(PrecipitacionesAnuales<Moda));
% Verifica los años que quedan arriba y debajo la media anual
% para precipitaciones y temperaturas
RegistrosPArribaMedia =
length(find(PrecipitacionesAnuales>PromedioPrecipitacionAnual));
RegistrosPAbajoMedia =
length(find(PrecipitacionesAnuales<PromedioPrecipitacionAnual));
RegistrosTArribaMedia =
length(find(TemperaturasAnuales>PromedioTemperaturaAnual));
RegistrosTAbajoMedia =
length(find(TemperaturasAnuales<PromedioTemperaturaAnual));

```

ClasificacioClimatica

```

% Se calculan las principales clasificaciones climaticas. Primero los grandes
% grupos: A, B, C, D y E (E realmente no se encuentra en el pais). Se utilizan
% las temperaturas medias mensuales.
% R = precipitacion anual; t = temperatura en °C
% A (tropical lluvioso) >>>> Mes mas calido > 18°C
%                               Mes mas frio > 18°C
% C (templado lluvioso) >>>> Mes mas calido > 18°
%                               Mes mas frio > 0°C
% D (frio lluvioso) >>>> Mes mas calido > 10°C
%                               Mes mas frio > 0°C

```

```

%      E (polar) >>>>      Mes mas caldo < 10°C
%                               Mes mas frio < 0°C
% Encuentra los limites de los climas templados C y D
% De acuerdo a la temperatura media mensual:
% La temperatura de 4 meses o mas es mayor a 10°C
%      a = T del mes mas calido > 22°C (C subtropical)
%      b = T del mes mas calido < 22°C (C templado)
% La temperatura de menos de 4 meses es mayor a 10°C
%      c = T del mes mas frio > -38°C (D frio)
%      d = T del mes mas frio < -38°C (D muy frio)
%      Este no es encuentra en Mexico
function [Clasificacion] = ClasificacionClimatica (FechasT, PromediosMensualesT,
    PrecipitacionesMensuales)
% La clasificacion climatica se hace solo cuando la estacion cuenta
% con datos de temperatura de otra manera se salta este proceso
if ~isnan(FechasT) & FechasT > 0,
    % Calculando terminos para clasificar
    PromedioTemperaturaAnual = Av_RMS(PromediosMensualesT);
    TMesCalido = max(PromediosMensualesT);
    TMesFrio = min(PromediosMensualesT);
    MesesSup_DiezGrados = find(PromediosMensualesT>10);
    Oscilacion = (max(PromediosMensualesT)-min(PromediosMensualesT));
    InviernoP = sum_with_nan (PrecipitacionesMensuales(1:3));
    VeranoP = sum_with_nan (PrecipitacionesMensuales(7:9));
    InviernoT = Av_RMS (PromediosMensualesT(1:3));
    VeranoT = Av_RMS (PromediosMensualesT(7:9));
    PromedioPrecipitacionAnual = sum_with_nan (PrecipitacionesMensuales');
    PorcentajeInviernoP = (InviernoP/PromedioPrecipitacionAnual)*100;
    CocientePT = PromedioPrecipitacionAnual/PromedioTemperaturaAnual;
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Clasificacion B, clima seco
    if (PromedioPrecipitacionAnual/10) <= (2*(InviernoT)) &
        (PromedioPrecipitacionAnual/10) <= (2*(VeranoT+14)),
        ZonaClima = 'B'; % El menos seco de los secos
    end
    % El mas seco de los secos
    if (PromedioPrecipitacionAnual/10) < (PromedioTemperaturaAnual+14),
        ZonaClima = 'BW';
    end
    % El intermedio de los secos
    if (PromedioPrecipitacionAnual/10) >= (PromedioTemperaturaAnual+14) &
        (PromedioPrecipitacionAnual/10) <= (2*(VeranoT+14)),
        ZonaClima = 'BS';
        % Subtipos BS
        % El mas seco de los BS
        if CocientePT < 22.9,
            ZonaClima = [ZonaClima 'o'];
        end
        % El menos seco de los BS
        if CocientePT >= 22.9,

```

```

        ZonaClima = [ZonaClima '1'];
    end
end
if exist('ZonaClima')==1 & ZonaClima(1) == 'B',
    Clasificacion = ZonaClima;
    return
end
% % % % % % % % Clasificacion A, clima tropical lluvioso
% Muy calido
if PromedioTemperaturaAnual >= 26 & TMesFrio >= 18,
    ZonaClima = 'A';
end
% Calido
if PromedioTemperaturaAnual >= 22 & PromedioTemperaturaAnual < 26 & TMesFrio >=
    18,
    ZonaClima = 'A';
% Semicalido A
if PromedioTemperaturaAnual >= 18 & PromedioTemperaturaAnual < 22 & TMesFrio
    >= 18,
    ZonaClima = [ZonaClima '(C)'];
end
end
if exist('ZonaClima')==1,
    if ZonaClima == 'A',
        if min(PrecipitacionesMensuales) >= 60,
            % Tipos Af tropicales lluviosos
            if PorcentajeInviernoP >= 18,
                ZonaClima = [ZonaClima '(f)'];
            end
            if PorcentajeInviernoP < 18,
                ZonaClima = [ZonaClima 'f(m)'];
            end
        end
    end

    % Ecuacion de la recta para dividir Af, Am y Aw (Garcia, 1988, de la figura pagina
    10)
    % y = precipitacion mes mas seco, x = precipitacion anual y
    % b = donde la recta corta al eje y. b = 100.
    b = 100;
    y = (-0.04*PromedioPrecipitacionAnual) + b;
    % Tipos Am tropicales lluviosos
    if min(PrecipitacionesMensuales) < 60 & min(PrecipitacionesMensuales) >= y,
        if PorcentajeInviernoP < 5,
            ZonaClima = [ZonaClima 'm(w)'];
        end
        if PorcentajeInviernoP >= 5 & PorcentajeInviernoP <= 10.2,
            ZonaClima = [ZonaClima 'm'];
        end
        if PorcentajeInviernoP > 10.2,

```

```

        ZonaClima = [ZonaClima 'm(f)'];
    end
else
    % Tipos Aw subhmedos con lluvias en verano
    if min(PrecipitacionesMensuales) < 60 & min(PrecipitacionesMensuales) < y,
        if CocientePT < 43.2,
            ZonaClima = [ZonaClima 'wo'];
        end
        if CocientePT >= 43.2 & CocientePT <= 55.3,
            ZonaClima = [ZonaClima 'w1'];
        end
        if CocientePT > 55.3,
            ZonaClima = [ZonaClima 'w2'];
        end
    end, end, end, end, end
    %%% Clasificacion C, clima templado lluvioso
    if exist('ZonaClima')~1,
        if TMesCalido >= 18 & TMesFrio >= 0,
            ZonaClima = 'C';
        end
        if exist('ZonaClima')==1,
            if ZonaClima == 'C',
                % Semicalido C
                if PromedioTemperaturaAnual >= 18 & TMesFrio >= -3 & TMesFrio < 18 &
                    TMesCalido >= 6.5,
                    ZonaClima = ['(A)' ZonaClima];
                    if TMesCalido >= 22,
                        ZonaClima = [ZonaClima 'a'];
                    else
                        ZonaClima = [ZonaClima 'b'];
                    end
                end
                % Templado con verano calido
                if PromedioTemperaturaAnual >= 12 & PromedioTemperaturaAnual < 18 &
                    TMesFrio >= -3 & TMesFrio < 18 & TMesCalido >= 22,
                    ZonaClima = [ZonaClima 'a'];
                end
                % Templado con verano fresco largo
                if PromedioTemperaturaAnual >= 12 & PromedioTemperaturaAnual < 18 &
                    TMesFrio >= -3 & TMesFrio < 18 & TMesCalido >= 6.5 & TMesCalido < 22,
                    ZonaClima = [ZonaClima 'b'];
                end
                % Semifrio con verano fresco largo
                if PromedioTemperaturaAnual >= 5 & PromedioTemperaturaAnual < 12 &
                    TMesFrio >= -3 & TMesFrio < 18 & TMesCalido >= 6.5 & TMesCalido < 22,
                    ZonaClima = [ZonaClima '(b)'];
                end
                % Semifrio con verano fresco corto
                if PromedioTemperaturaAnual >= 5 & PromedioTemperaturaAnual < 12 &
                    TMesFrio >= -3 & TMesFrio < 18 & length(MesesSup_DiezGrados) < 4,

```

```

        ZonaClima = [ZonaClima 'c'];
    end
    % Subtipo C(f)
    if PorcentajeInviernoP > 18,
        ZonaClima = [ZonaClima 'f'];
    end
    % Subtipos templados. Separacion entre C(fm), C(m) y C(w) segun
    % la grafica de Garcia (1988) pagina 41. Ecuacion de la recta
    %  $y = -0.03x + 55$ . Donde  $y$  = precipitacion mes mas seco en mm y
    %  $x$  = precipitacion total anual en mm.
    b = 55;
    y = (-0.03*PromedioPrecipitacionAnual) + b; %%%%%%%%%%%%%%% Checar si
    la combinacion de Ca(fm), Ca(m), etc es posible
    if min(PrecipitacionesMensuales) >= 40,
        ZonaClima = [ZonaClima 'fm'];
    end
    if min(PrecipitacionesMensuales) < 40 & min(PrecipitacionesMensuales) >= y,
        if PorcentajeInviernoP < 5,
            ZonaClima = [ZonaClima '(m) (w)'];
        else
            ZonaClima = [ZonaClima '(m)'];
        end
    end
    if min(PrecipitacionesMensuales) < 40 & min(PrecipitacionesMensuales) < y,
        if PorcentajeInviernoP < 5,
            ZonaClima = [ZonaClima '(w) (w)'];
        else
            ZonaClima = [ZonaClima '(w)'];
            % Subtipos de clima C(w) templado subhumedo con lluvias en verano
            %           if ZonaClima == 'C(w)'
            if CocientePT < 43.2,
                ZonaClima = [ZonaClima 'o'];
            end
            if CocientePT >= 43.2 & CocientePT <= 55,
                ZonaClima = [ZonaClima '1'];
            end
            if CocientePT > 55,
                ZonaClima = [ZonaClima '2'];
            end, end, end, end, end, end
    %%%%%%%%%%%%%%% Clasificacion D, clima boreal
    if exist('ZonaClima')~=1,
        if TMesCalido >= 10 & TMesFrio >= 0,
            ZonaClima = 'D';
        end
    end
    %%%%%%%%%%%%%%% Clasificacion E, clima frio o polar
    if exist('ZonaClima')~=1,
        % Frio

```

```
if PromedioTemperaturaAnual >= -2 & PromedioTemperaturaAnual < 5 & TMesFrio >=
    0 & TMesCalido >= 0 & TMesCalido < 6.5,
    ZonaClima = 'E(T)C';
end
if PromedioTemperaturaAnual >= -2 & PromedioTemperaturaAnual < 5 & TMesFrio < 0
    & TMesCalido >= 0 & TMesCalido < 6.5,
    ZonaClima = 'E(T)';
end
% Muy frio
if PromedioTemperaturaAnual < 2 & TMesCalido < 0,
    ZonaClima = 'EF';
end
end
end
% Fin de la clasificacion.
if exist('ZonaClima')==1,
    Clasificacion = ZonaClima;
else
    % Si las fechas para temperatura son 0 o NaNs, o sea, que no hay datos de
    % temperatura, entonces se despliega una leyenda.
    fprintf ('\n La estacion pedida no se puede clasificar por faltar datos de temperatura');
    Clasificacion = 'SinClasificacion';
end
end
```