



ZACATECAS
CONTIGO EN MOVIMIENTO

IEMAZ

Instituto de Ecología
y Medio Ambiente

ESTRATEGIA ESTATAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE ZACATECAS

Fase 1



9 786077 678816

Presentación de la Estrategia para Enfrentar el Cambio Climático en el Estado de Zacatecas

El desarrollo de las sociedades está fuertemente vinculado a las variaciones e incertidumbres presentes en el clima.

Desde siempre, el clima ha sido un desafío para la humanidad, pero hoy este inmemorial reto presenta una faceta distinta.

Hasta hace unas décadas, el cambio climático sólo llamaba la atención de los científicos; sin embargo, ahora es un tema cotidiano que atrae la atención de los gobiernos y grandes asentamientos humanos.

Los efectos de la urbanización y del cambio climático están convergiendo en peligrosas direcciones que suponen una seria amenaza para la estabilidad medioambiental, económica y social del mundo.

La acción local es indispensable para la puesta en marcha de los compromisos de México en las negociaciones internacionales en materia de cambio climático y para desacelerar el deterioro del entorno natural.

En este contexto nace la Estrategia para Enfrentar el Cambio Climático en el Estado de Zacatecas, dirigida a contrarrestar los efectos generados por las variaciones del clima, mediante un proceso donde concurren las dependencias gubernamentales, las universidades, la sociedad civil y todo actor social interesado en la preservación de la vida.

El documento que tiene en sus manos comprende la fase diagnóstica para la implementación de la Estrategia, etapa que permite conocer cuál es nuestra contribución al problema y comprender los impactos pasados y presentes provocados por el fenómeno del cambio climático en el estado de Zacatecas.

Aquí podrá conocer, por ejemplo, cómo ha variado el clima en nuestra entidad a través de los años, cuánta energía eléctrica consumimos y de dónde proviene.

Asimismo, encontrará cuáles son las fuentes energéticas utilizadas para el desarrollo económico de nuestra entidad, cuántos y cuáles son los principales contaminantes presentes en nuestro aire y quién los emite, entre otros conceptos necesarios para diseñar e implementar medidas específicas de adaptación y mitigación a los efectos generados por el cambio climático en los diferentes sectores de nuestro estado.

Este proyecto contemplado en el Plan Estatal de Desarrollo 2010-2016, ubica a Zacatecas como una entidad interesada en atender la problemática que aqueja a nuestro entorno y una decidida a sumar las contribuciones regionales al desarrollo sostenible de la nación.



LIC. MIGUEL ALONSO REYES

GOBERNADOR DEL ESTADO DE ZACATECAS

ESTRATEGIA ESTATAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE ZACATECAS (PRIMERA FASE)

COORDINACION DEL PROYECTO

DR. JOSÉ LUIS PINEDO VEGA

UNIDAD ACADEMICA DE ESTUDIOS NUCLEARES DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS

AUTORES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

MET. CUAUHTÉMOC TORRES DÍAZ

M. en C. NICOLAS TORRES BRAWER

DR. EDUARDO MANAZANARES ACUÑA

DR. FERNANDO MIRELES GARCÍA

DR. VÍCTOR MANUEL GARCÍA SALDIVAR

DRA. ARMILDE RIVERA HUIZAR

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

DR. APOLONIO JUÁREZ NÚÑEZ

M. en I. EMMA JUÁREZ NÚÑEZ

ING. DANIEL REYES LASTIRI

GEOSISTEMAS Y DESARROLLO AMBIENTAL S.C.

M. en C. ALBERTO ROJAS RUEDA

MANUEL DE JESUS TRIPP RIVERA

GOBIERNO DEL ESTADO

LIC. MIGUEL ALONSO REYES

GOBERNADOR DEL ESTADO DE ZACATECAS

M. EN C. JULIO CÉSAR NAVA DE LA RIVA

DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE DEL ESTADO DE ZACATECAS

ING. DAVINIA RÍOS HERRERA

DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN Y PROYECTOS

GOBIERNO FEDERAL

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTES Y RECURSOS NATURALES

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO

Índice

PRIMERA PARTE

Reglamentación

Introducción.....	9
Marco Constitucional.....	10
Fundamento Constitucional.....	10
Marco Legal.....	10
Reformas al Marco Jurídico del Estado de Zacatecas en Materia de Cambio Climático.....	13
Reforma Constitucional.....	13
Reforma al marco legal del Estado de Zacatecas.....	14
Conclusiones.....	22
Acrónimos.....	22

SEGUNDA PARTE

Análisis Estadístico Climático

Introducción y objetivo.....	25
Capítulo I Base de datos de CONAGUA.....	31
1.1 Estaciones de CONAGUA.....	32
1.2 Captura de información.....	37
1.3 Procedimiento para el cálculo de temperatura máxima, mínimas precipitación y evaporación.....	42
1.4 Procedimiento para el cálculo de fenómenos diversos.....	44
1.5 Procedimiento para el cálculo de temperatura media y oscilación.....	46
1.6 Procedimiento para el cálculo de normales climatológicas.....	50
Capítulo II Observatorios Sinópticos de Zacatecas.....	57
2.1 Observatorio de Sombrerete.....	59
2.2 Observatorio de la Bufa.....	71
Capítulo III Base de datos del INIFAP.....	85
3.1 Base de Datos del INIFAP.....	86
3.2 Procedimiento de cálculo para temperaturas, humedad relativa y radiación solar.....	88
3.3 Cálculo de vientos.....	91
3.4 Tensión del vapor de agua.....	96
Capítulo IV Estación Meteorológica de Ciencias de la Tierra, UAZ.....	101
Capítulo V Tendencias climatológicas y elaboración de mapas.....	105
5.1 Elaboración de tendencias.....	106
5.2 Mapas de vientos.....	113
5.3 Mapa de precipitación.....	115
5.4 Mapa de temperaturas.....	116
Capítulo VI Cambio climático.....	119
El calentamiento global.....	122
El vapor de agua es el principal gas de efecto invernadero.....	123

Vapor de agua.....	124
Dióxido de carbono.....	125
Consideraciones del autor del libro.....	131
Capítulo VII Cambio climático en Zacatecas.....	135
7.1 Procedimiento para la elaboración de mapas de tendencias.....	136
7.2 Tendencias de la temperatura.....	137
7.3 Tendencia de la precipitación.....	151
Capítulo VIII Conclusiones.....	165
Índice de tablas.....	170
Índice de figuras.....	171
Literatura consultada.....	174

TERCERA PARTE

Balance Energético

Presentación.....	177
Introducción.....	178
Factores de conversión.....	179
Resumen ejecutivo.....	180
Huella de carbono 2005-2009.....	182
Balance energético estatal 2005-2009.....	184
Fuentes de energía.....	185
Huella de carbono estatal 2005-2009.....	209
Combustibles fósiles.....	212
Combustibles biogénicos.....	215
Conclusiones generales.....	222
Glosario.....	223
Referencias.....	225
Índice de tablas y figuras.....	226
Índice de anexos.....	227

CUARTA PARTE

Inventario de Gases de efecto Invernaderos

Introducción.....	230
Antecedentes.....	232
Aspectos físicos.....	232
Flora y fauna.....	233
Agricultura y ganadería.....	234
Recursos minerales.....	234
Producto interno bruto.....	235
Población.....	235
Vivienda.....	237

Energía.....	237
Datos de actividad.....	237
Balance energético y factores económicos.....	240
Resultados.....	241
Procesos Industriales.....	245
Datos de actividad.....	245
Producción de Cal (Hidróxido de calcio).....	246
Uso de piedra caliza.....	246
Industria siderúrgica.....	246
Agricultura.....	247
Ganadería.....	247
Residuos.....	249
Datos de actividad.....	249
Generación.....	249
Composición.....	249
Disposición.....	251
Aguas residuales.....	252
Resultados.....	252
Conclusiones.....	254
Anexo A: Metodología.....	257
Energía.....	257
Industria.....	257
Agricultura.....	258
Residuos Sólidos Municipales.....	259
Aguas residuales municipales.....	260
Aguas residuales industriales.....	262
Anexo B: Factores de emisión.....	263
Anexo C: Referencias.....	266
Índice de Figuras.....	267
Índice de Tablas.....	267

REFORMAS Y ADICIONES AL MARCO LEGAL DEL ESTADO DE ZACATECAS PARA INCORPORAR CRITERIOS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Alberto Rojas Rueda

Manuel de Jesús Tripp Rivera

Introducción

Con fecha 7 de diciembre de 2010, fue publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2011 (PEF 2011) que incluyó el Anexo 31 Ampliaciones del Ramo 16 Medio Ambiente y Recursos Naturales (Anexo 31), el cual dispuso de recursos para 29 entidades federativas (incluido el Distrito Federal), con la finalidad de que fortaleciera su política e infraestructura ambiental. El estado de Zacatecas, fue una de las entidades federativas que recibió recursos, para lo cual definió una serie de proyectos prioritarios para la entidad a fin de mejorar su gestión ambiental.

Como parte de los proyectos propuestos por el gobierno del Estado a través del Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas (IEMAZ) para el Anexo 31 del Ramo 16, se propuso la actualización del marco legal para incorporar criterios de adaptación y mitigación al cambio climático. La visión de este trabajo nos basó en la elaboración de una Ley Estatal de Cambio Climático, sino en la integración y armonización de todo el marco legal estatal, lo que permitiera incorporar desde la planeación, una efectiva acción del gobierno en materia de adaptación y mitigación al cambio climático. Dado que este tema es indivisible al desarrollo sustentable, se determinó hacer de manera paralela una revisión al marco legal que permitiera hacer efectiva la obligación prevista en el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, relativa a promover un desarrollo integral y "sustentable". Para lograr este trabajo, se hizo la revisión del marco legal estatal, así como un estudio sobre el marco federal y la legislación de otras Entidades Federativas vigentes a finales de 2011, para establecer referentes nacionales en la materia, lo que permitió establecer una propuesta de reforma legal en la materia para el estado de Zacatecas.

Cabe destacar que el estudio que nos ocupa fue desarrollado entre 2011 y 2012, cuando aún no existía la Ley General de Cambio Climático (LGCC).

Marco Constitucional.

Fundamento Constitucional.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) es, junto con los Tratados Internacionales ratificados por nuestro país, el fundamento del sistema jurídico mexicano. En la CPEUM, se establecen las bases para el desarrollo nacional sustentable (artículo 25), la protección al ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como el derecho de las personas a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar (artículo 4to); además establece que la Nación tiene el derecho de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana (artículo 27).

La CPEUM le confiere al Congreso de la Unión la facultad para legislar en ciertas materias, como es el caso de la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico, las cuales se consideran concurrentes (artículo 73 XIX-G)¹, además precisa que las facultades no concedidas expresamente a los funcionarios federales, se entienden reservadas a los estados, mientras que para los municipios, establece facultades específicas en el artículo 115.

Respecto del tema de cambio climático, la CPEUM no prevé disposición alguna, lo que implica que no habría facultad del Congreso de la Unión para legislar en la materia, además de que no existe la concurrencia en el tema, sin embargo sí hace referencia al desarrollo sustentable (artículo 25 CPEUM), el cuál debe incluir previsiones relacionadas, entre otras materias, a la mitigación y adaptación al cambio climático en las políticas de desarrollo.

Marco Legal

El presente apartado se desarrolla en tres capítulos: marco legal federal; marco legal en las entidades federativas, y el marco jurídico en el Estado de Zacatecas en materia de cambio climático.

Es pertinente precisar que al día de hoy, el marco legal ambiental y el marco legal en materia de cambio climático se encuentran vinculados, particularmente en lo relativo a la regulación de la contaminación a la atmósfera, así como a los instrumentos preventivos y de control de la emisión de gases proveniente de procesos industriales y de fuentes móviles.

En el capítulo correspondiente al marco legal federal, se revisan las disposiciones legales que reglamentan a la Constitución en lo referente a la protección al ambiente y a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, que es la base sobre la cual se desarrollan los instrumentos asociados a la prevención y control de la contaminación atmosférica así como los relativos a la mitigación y adaptación al cambio climático.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), establece la concurrencia de la Federación, los estados y los municipios en materia de protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico, además de regular la contaminación de la atmósfera. La LGEEPA incorpora el concepto de cambio climático y atribuye a los tres órdenes de gobierno responsabilidades en la materia, antes de la publicación de la LGCC.

Asimismo, en el capítulo del marco legal federal, no se revisó el contenido de la LGCC, dado que el proyecto fue ejecutado antes de su aprobación por el Congreso de la Unión y su publicación en el DOF.

Respecto al marco legal de las entidades federativas y el Distrito Federal (DF), se revisaron las constituciones, las leyes orgánicas de la administración pública y las leyes ambientales estatales, con el propósito de identificar la forma en que ha sido reconocido e incorporado formalmente a las leyes estatales el concepto de cambio climático. Asimismo, se revisaron las leyes estatales en materia de cambio climático de los estados de Quintana Roo, Veracruz, Chiapas y DF2, su estructura, objetivos, arreglos institucionales e instrumentos, para identificar sus aciertos y tenerlos presentes al momento de for-

¹ La concurrencia implica que la Federación, a través del Congreso de la Unión, regula una materia mientras que las entidades federativas, así como los municipios, participan en la regulación y aplicación de la misma materia, en sus respectivos ámbitos de competencia, ajustándose esta a lo dispuesto en la CPEUM y en la legislación federal aplicable.

² Al momento de realizar este trabajo, no había sido publicada la Ley de Prevención, Adaptación y Mitigación al Cambio Climático del Estado de Baja California del 1 de junio de 2012.

mular la propuesta para el estado de Zacatecas.

Por lo que hace al capítulo correspondiente al marco jurídico de Zacatecas se analizaron los avances y las carencias de la legislación vigente en el Estado en la materia y se propusieron reformas, tanto a la Constitución Política como al marco legal estatal.

Marco legal federal.

En cumplimiento de la facultad para legislar en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico, el Congreso de la Unión expidió en 1988 la LGEEPA, reformada en 1996.

En materia de contaminación a la atmósfera, la LGEEPA además de establecer la concurrencia, distribuyó competencias (artículo 5, LGEEPA). Para esta ley son consideradas fuentes fijas de jurisdicción federal las industrias química, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos. Existe un Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera, el cual establece los subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales previstos en la ley.

Por lo que respecta los estados, la LGEEPA establece que son responsables de la prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como por fuentes móviles, que conforme a lo establecido en esta ley no sean de competencia federal (artículo 7°, fracción III), en tanto que a los municipios les corresponde la aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes móviles que no sean consideradas de jurisdicción federal, con la participación que de acuerdo con la legislación estatal corresponda al gobierno del estado.

Es importante considerar que la prevención y control de la contaminación de la atmósfera, de manera indirecta, incide en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En enero de 2011, se publicaron en el DOF reformas a la LGEEPA para incorporar disposiciones relativas al cambio climático. Sin embargo su alcance se limitó a conferir a la Federación, a los estados y a los municipios la facultad de formular y ejecutar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, sin precisar los alcances de estas acciones.

Destaca el hecho de que aun cuando en la CPEUM no existe referencia alguna a cambio climático, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF), al reglamentar la organización y funciones de la Administración Pública Centralizada, confirió expresamente a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), facultades para conducir las políticas nacionales sobre cambio climático.

Así, la LGEEPA incorpora el marco regulatorio de los instrumentos y procedimientos referentes a la promoción de conductas y actitudes responsables por parte de los propietarios de fuentes fijas y móviles de emisiones a la atmósfera y de la población en general, así como las medidas preventivas y de control necesarias para evitar que las emisiones de contaminantes a la atmósfera, incluidos los GEI, rebasen los límites máximos establecidos.

Las disposiciones contenidas en la LGEEPA, determinan del contenido y alcance de las leyes estatales y los reglamentos municipales ambientales que deben observar lo dispuesto en las leyes generales³.

Marco Legal en las Entidades Federativas en Materia de Cambio Climático Contaminación Atmosférica.

Los 31 Estados y el DF cuentan con disposiciones relativas al ambiente y al equilibrio ecológico en sus Constituciones y en sus leyes orgánicas. Sin embargo, sólo en una constitución estatal se hace referencia expresamente a "atmósfera" (Nuevo León) y sólo dos de ellas hacen referencia a "cambio climático" (Tabasco y Chiapas). Las demás contienen enunciados cuya interpretación permite inferir que los temas de cambio climático y de calidad del aire están comprendidos como

³ En el segundo párrafo del artículo 10 de la LGEEPA, se advierte que "En el ejercicio de sus atribuciones, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, observarán las disposiciones de esta Ley y las que de ella se deriven.". Asimismo, en el artículo 5° de la LGCC, se establece que la Federación, las entidades federativas, el Distrito Federal y los municipios ejercerán sus atribuciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con la distribución de competencias previstas en dicha Ley.

parte de la protección del ambiente o de la preservación y restauración del equilibrio ecológico.

No obstante las inconsistencias que se aprecian en el marco legal ambiental vigente en las entidades federativas con relación al cambio climático, algunos estados cuentan con una ley específica en la materia, como es el caso de Chiapas, DF, Quintana Roo y Veracruz. Estas leyes son vigentes desde antes de la fecha de publicación de la LGCC.

El 29 de marzo de 2010, en el Periódico Oficial del estado de Quintana Roo, se publicó la Ley de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo (LCCQR), la cual tiene por objeto mitigar las emisiones y lograr un territorio mejor adaptado a los potenciales impactos del cambio climático, estableciendo el marco para la planeación y la ejecución de las políticas de adaptación, de acuerdo con el conocimiento científico existente. De conformidad a lo dispuesto en esta Ley, son autoridades estatales en materia de cambio climático: el Titular del Poder Ejecutivo del Estado; el Titular de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente; los ayuntamientos; el Titular de la Dirección General de Protección Civil, y la Comisión Estatal de Cambio Climático de Quintana Roo.

La LCCQR, establece los criterios generales para la definición de políticas de mitigación y adaptación; determina las competencias y funciones de las diferentes autoridades de la materia; crea la Comisión Estatal de Cambio Climático; establece la base normativa del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático; integra objetivos de mitigación de emisiones en las políticas sectoriales; crea el Registro de Reducciones Voluntarias de Emisiones, y dispone que el Fondo Estatal de Protección al Ambiente debe también captar y canalizar recursos para acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en la Entidad.

La LCCQR promueve la participación ciudadana, establece el derecho de solicitar información en materia de cambio climático, y otorga el derecho a elevar propuestas de actuación a las autoridades estatales y municipales en materia de mitigación de emisiones y adaptación al cambio climático. Asimismo, establece responsabilidades y sanciones derivadas de lo dispuesto en la Ley.

En Veracruz, fue publicada el 3 de noviembre de 2010, la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los efectos del Cambio Climático (LCCVer), la cual tiene por objeto establecer la concurrencia del Estado y de los municipios en la formulación e instrumentación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático, la mitigación de sus efectos adversos, para proteger a la población y coadyuvar al desarrollo sustentable. Esta Ley establece criterios generales para la definición de políticas de mitigación y adaptación; y señala como autoridades estatales en materia de cambio climático al Gobernador del Estado, a los titulares de las secretarías de Desarrollo Social y Medio Ambiente, de la Secretaría de Protección Civil, y al Subsecretario de Medio Ambiente y Cambio Climático.

La LCCVer, crea al Consejo Estatal para la Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático, y establece las bases de coordinación y las atribuciones de las dependencias y entidades estatales y de los municipios, para la realización de medidas necesarias para la mitigación y adaptación al cambio climático. Asimismo, esta Ley establece los criterios para enfrentar los retos de la adaptación y los lineamientos para mitigar los efectos nocivos del cambio climático y prevenir y controlar la contaminación de la atmósfera por gases de efecto invernadero y otras partículas, y establece responsabilidades y sanciones.

El 7 de diciembre de 2010, se publicó en el Periódico Oficial del Estado de Chiapas, la Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas (LCCCh), con el objeto de establecer la concurrencia del Estado y de los municipios en la formulación e instrumentación de las políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos adversos, para proteger a la población y coadyuvar al desarrollo sustentable. Esta Ley reconoce como autoridades en materia de cambio climático en el ámbito de sus respectivas competencias, al Gobernador del Estado, a los titulares de la Secretaría de Medio Ambiente, Vivienda e Historia Natural, de la Secretaría de Transportes, del Instituto de Protección Civil, al Subsecretario de Medio Ambiente y a los ayuntamientos municipales.

La LCCCh establece criterios generales para la definición de políticas de adaptación y mitigación, establece directrices para enfrentar los retos del cambio climático y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero; distribuye competencias entre las dependencias y entidades del Poder Ejecutivo del Estado y los municipios, y crea la Comisión de Coordinación Intersecretarial de Cambio Climático del Estado, con carácter permanente y con las facultades necesarias para desarrollar la política de adaptación y mitigación del cambio climático en Chiapas.

En la LCCCh se sientan las bases para la elaboración de la Estrategia Estatal de Cambio Climático, como el instrumento rector de la política estatal en la materia; se crea el Fondo Ambiental del estado de Chiapas, y se establecen responsabilidades y sanciones con motivo del incumplimiento de la Ley.

El 16 de junio de 2011, fue publicada en la Gaceta del Distrito Federal, la Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y Desarrollo Sustentable para el Distrito Federal (LCCDF). Esta Ley es de orden público, interés social y de observancia general en el Distrito Federal en materia de mitigación de gases de efecto invernadero, adaptación al cambio climático y desarrollo sustentable, y tiene por objeto el establecimiento de políticas públicas que permitan propiciar la mitigación de Gases de Efecto Invernadero, la adaptación al cambio climático, así como el coadyuvar al desarrollo sustentable.

La LCCDF señala como autoridades competentes para su aplicación al Jefe de Gobierno del Distrito Federal, a la Secretaría de Medio Ambiente, a la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial, y a la Comisión Interinstitucional de Cambio Climático del Distrito Federal, y les otorga facultades para ello

La misma LCCDF establece directrices para enfrentar los retos del cambio climático y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero; faculta al Jefe de Gobierno del DF a establecer un Sistema de Bonos de Emisiones de Carbono; crea y regula el Registro de Emisiones de la Ciudad de México; faculta a la Secretaría a expedir normas técnicas y ambientales en la materia; crea el Fondo Ambiental para el Cambio Climático; establece las bases para promover la participación ciudadana, y establece medidas de control, seguridad y sanción.

Reformas al Marco Jurídico del Estado de Zacatecas en Materia de Cambio Climático.

El Gobierno del Estado de Zacatecas comprometido con el tema de cambio climático ha propuesto elaborar una Estrategia Estatal de Cambio Climático, con el apoyo del entonces, Instituto Nacional de Ecología¹, la Universidad Autónoma de Zacatecas y otras entidades como el Banco Mundial², con el objeto de generar una política de adaptación y mitigación al cambio climático.

Siendo un estado que atraviesa por una de las peores sequías de su historia, se hace necesario que se inicien trabajos de planeación estratégica de políticas que permitan adaptarse a los efectos del cambio climático, que entre otros, prevén mayores sequías en el estado. Para lograr esto se requiere una base institucional que permita al gobierno dirigir y ejecutar políticas en materia de adaptación y mitigación al cambio climático fundados dos en un marco legal estatal que de claridad a las acciones del estado en la materia. Sin embargo, de la revisión al marco jurídico estatal relativo a la contaminación atmosférica y cambio climático de Zacatecas, se advirtió que respecto de la gestión de la calidad del aire tiene vacíos e inconsistencias importantes, mientras que en materia de cambio climático no cuenta con dispositivo legal alguno que haga referencia al tema.

En tal virtud, es necesaria su revisión con el objeto de hacer las modificaciones que permitan generar y armonizar con el marco federal, la legislación estatal en la materia y con ello lograr una acción gubernamental concurrente, coordinada y efectiva para adaptar y mitigar el cambio climático a nivel local.

Reforma Constitucional.

Conforme al sistema de competencias que la misma Constitución establece, corresponde a los estados legislar en aquellas materias que la CPEUM no reservó expresamente al Congreso o a los Poderes de la Unión.

El artículo 65 de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Zacatecas, otorga al Congreso del Estado la facultad para legislar en materia de desarrollo urbano y expedir leyes para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente, sin precisar el alcance de esta disposición.

Dado que el fenómeno del cambio climático se ha constituido en la base de una agenda prioritaria en el diseño y aplicación de políticas públicas, para que la legislatura estatal pueda expedir leyes en materia de cambio climático es necesario precisar en el texto constitucional esta facultad.

Asimismo, se propone que se incluya facultar al Congreso del Estado para legislar en la regulación del manejo sustentable de los recursos naturales, entendiendo por manejo el conjunto de políticas, estrategias, programas y regulaciones esta

¹ Actual Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

² Organismo que apoyo técnicamente al gobierno del Estado con un estudio diagnóstico sobre la vulnerabilidad hídrica del estado en materia de cambio climático.

blecidas con el fin de determinar las actividades y acciones de conservación, protección, aprovechamiento sustentable, investigación, producción de bienes y servicios, restauración, capacitación, educación, recreación y demás actividades relacionadas con el desarrollo sustentable (Artículo 3° del Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas)

Por otra parte, conforme a lo dispuesto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, todo individuo tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y el Estado tiene el deber de garantizar el desarrollo integral y sustentable del país, en razón de lo cual conviene reformar el artículo 30 constitucional para precisar que el medio ambiente sano del individuo es un derecho, además de que es responsabilidad del estado promover el desarrollo sustentable de la Entidad, la preservación del equilibrio ecológico, la protección del ambiente y el manejo sustentable de los recursos naturales.

Reforma constitucional propuesta.

“Artículo Único. Se reforman párrafos primero y segundo del artículo 30, y el primer párrafo y la fracción VII del artículo 65 de la Constitución Política del estado Libre y Soberano de Zacatecas para quedar como sigue:

Artículo 30.- Todo individuo tiene derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado y sano que propicie su desarrollo y bienestar.

El Estado dictará, en el ámbito de su competencia, las medidas apropiadas que garanticen el desarrollo integral y sustentable de la entidad, la preservación del equilibrio ecológico, la protección del ambiente y el manejo sustentable de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de generaciones futuras, así como las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Artículo 65.- Son facultades y obligaciones del Congreso del Estado:

I. a VI. ...

VII. Legislar en materia de desarrollo urbano y de cambio climático, así como expedir leyes para preservar y restaurar el equilibrio ecológico, proteger el ambiente y regular el manejo sustentable de los recursos naturales, que establezcan la concurrencia de los gobiernos estatal y municipales, en el ámbito de sus respectivas competencias, de conformidad con la Constitución General y la ley reglamentaria correspondiente, así como lo concerniente al patrimonio cultural, artístico e histórico;

VIII. a XLVIII. ...”

Reforma al marco legal del Estado de Zacatecas.

En Zacatecas, el acelerado crecimiento demográfico, el incremento del parque vehicular, la expansión desordenada de las zonas urbanas, la explotación excesiva, irracional y desordenada de los recursos naturales, el cambio de uso de suelo, la deforestación y la contaminación por diversas vías, han provocado un fuerte impacto ambiental afectando de manera negativa a los ecosistemas de las diferentes regiones del Estado, alcanzando en muchos de los casos afectaciones de carácter irreversible y con ello un deterioro de la calidad de vida de sus habitantes. El cambio climático, es un fenómeno que agrava aún más estos efectos.

Para la atención de estos problemas, la ley es la herramienta más importante con la que cuentan tanto gobierno como sociedad. La actuación de las autoridades, está sujeta a lo que la ley establece, de tal manera que la ausencia de ley, su ineficacia o su inconsistencia dificultan o impiden la adecuada actuación institucional. En tal virtud, la actualización permanente de los ordenamientos jurídicos y de la estructura institucional es, un factor determinante para lograr la tutela efectiva del derecho de todos los habitantes del Estado a un medio ambiente adecuado para su salud y bienestar.

La atención de los problemas ambientales que enfrenta el Estado y la necesidad de orientar los nuevos procesos de desarrollo con un enfoque de sustentabilidad bajo criterios de planeación que consideren los nuevos escenarios de cambio climático para el estado, hacen necesario el fortalecimiento y la integración de las políticas públicas estatales y municipales, para lograrlo, debe actualizarse el marco jurídico y consolidar la estructura administrativa del sector, conforme a una estrategia que propicie la efectiva concurrencia y evite excesos, duplicidad y dispersión de los esfuerzos y de los recursos a aplicar.

Se efectuó una revisión al marco legal en el Estado, que permitió advertir la necesidad de reformar diversas leyes estatales para lograr una política eficaz de adaptación y mitigación al cambio climático. A continuación se resumen las propuestas de modificación a diversas leyes.

Ley Orgánica de la Administración Pública del Gobierno del Estado de Zacatecas.

Las facultades que la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Zacatecas confiere al Poder Ejecutivo Estatal, cuyo ejercicio está depositado en la persona del Gobernador, se encuentran reglamentadas en la Ley Orgánica de la Administración Pública del Gobierno del Estado de Zacatecas. Dicha ley establece las bases para la organización y el funcionamiento de la administración pública estatal, centralizada y paraestatal.

Conforme a lo dispuesto en esa ley, el ejercicio del Poder Ejecutivo corresponde al Gobernador del Estado, con las atribuciones, funciones y obligaciones que le señalan tanto la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, como la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Zacatecas y las leyes vigentes en el Estado. Para el despacho de los asuntos que le competen, el Gobernador del Estado se debe auxiliar de las dependencias y entidades de la administración pública del Estado, conforme a lo dispuesto en la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Zacatecas y demás disposiciones jurídicas aplicables.

Por lo expuesto y considerando que el cambio climático se ha constituido en la base de una agenda prioritaria en el diseño y aplicación de políticas públicas ambientales, es necesario que se incluya en el texto de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Gobierno del Estado de Zacatecas, como uno de los asuntos cuyo despacho corresponde a la Secretaría de Planeación, a la que le compete el despacho de los asuntos ambientales del Gobierno Estatal.

Asimismo, es importante establecer en esta Ley la promoción del aprovechamiento sustentable de los recursos y las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, como elementos fundamentales de la política ambiental de los municipios.

Las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Zacatecas, permitirán contar con una plataforma normativa sólida para desarrollar en las leyes reglamentarias del texto constitucional, las previsiones, regulaciones y procedimientos que propicien el adecuado funcionamiento de los instrumentos de política ambiental y mejoren la actuación gubernamental particularmente en materia de cambio climático,

Ley de Planeación del Estado de Zacatecas.

Conforme a lo dispuesto en el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el Estado debe garantizar el desarrollo integral y sustentable. En tal virtud, se propone reformar el artículo 25 de la Ley de Planeación, para señalar como uno de sus objetivos el establecimiento de las normas, principios y estrategias de la planeación democrática para el desarrollo integral y sustentable del Estado, y alinear la ley estatal al marco general y armonizar la base normativa de los diferentes órdenes de gobierno.

La mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero y la adaptación al cambio climático, son medidas que se proponen en la planeación y diseño de las estrategias y los programas de gobierno, estableciéndose como prioritarios aquellos proyectos que promuevan el desarrollo social, el respeto al medio ambiente y el establecimiento de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Zacatecas.

En relación a la ley ambiental del Estado, se propone una reforma mayor a efecto de estar en condiciones de que las autoridades estatales puedan asumir plenamente las responsabilidades que en la materia le corresponden así como fortalecer el quehacer municipal ambiental que permitan alcanzar un desarrollo integral y sustentable en el estado.

Las reformas que se proponen a la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Zacatecas persiguen, entre otros, los siguientes objetivos:

- Garantizar la participación de ejidos, comunidades, pueblos y comunidades indígenas, en la elaboración de los estudios técnicos y en la formulación y expedición de las declaratorias de áreas naturales protegidas estatales;
- Actualizar los conceptos empleados en relación con los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para alinearlos con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos;
- Precisar la base de la información con la que se integrará este Sistema Estatal de Información Ambiental;
- Establecer la responsabilidad del Instituto de colaborar con las autoridades federales para que el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) se integre al Sistema Nacional de Información Ambiental;
- Adicionar un capítulo para precisar los alcances y procedimientos para regular el otorgamiento de la licencia ambiental única estatal; establecer su obligatoriedad para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción estatal, y los requisitos para su obtención.

Código Urbano del Estado de Zacatecas.

Toda vez que la utilidad pública es el fundamento de la expropiación, como una prerrogativa del Estado prevista en el texto constitucional, se propone declarar la utilidad pública la preservación y protección al ambiente y el establecimiento de las zonas de preservación ecológica de los centros de población, así como la ejecución de obras, programas, y el establecimiento de medidas y acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Por la importancia que tiene el desarrollo urbano con el cuidado y la protección del ambiente, se propone incluir al Director del Instituto de Ecología como miembro de la Comisión Estatal de Desarrollo Urbano.

Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Zacatecas.

Es importante precisar que la ley forestal del Estado reglamenta lo dispuesto en la Constitución del Estado, que es la que confiere las facultades para legislar al Congreso Estatal, considerando que la Constitución Estatal ya establece específicamente el principio de concurrencia que deriva del artículo 73, fracción XXIX G de la Constitución Federal.

El cambio climático se ha constituido en la base de la agenda ambiental del Estado Mexicano, en razón de lo cual es necesario que se incluya dentro de los objetivos de esta Ley la participación de la sociedad y la coordinación con la Federación y los municipios para la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el sector forestal.

La realización de actividades tendientes a detener la degradación y la pérdida de cobertura forestal, así como el impulso a manejo sustentable del territorio y de los bosques, son una de las estrategias fundamentales de las acciones de mitigación de gases de efecto invernadero, en virtud de lo cual uno de los objetivos de la ley deben ser la promoción de actividades, instrumentos y mecanismos tendientes a la reducción de la degradación y deforestación del territorio del Estado, así como para el manejo integral y sustentable del territorio y los recursos forestales.

Toda vez que la utilidad pública es el fundamento de la expropiación, como una prerrogativa del Estado, prevista en el texto constitucional, es importante declarar la utilidad pública de las obras o actividades que se realicen con el objeto de implementar medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Ley de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Zacatecas.

Se propone que se declare de interés público el uso y aprovechamiento sustentable del agua, conforme a lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales, así como el establecimiento de incentivos y mecanismos de compensación, en su caso, a sus propietarios para su preservación y cuidado, así como la previsión de ingresos específicos para el pago de servicios ambientales vinculados al agua y su gestión, así como para la conservación de los ecosistemas donde se capta, emerge o se extrae el recurso hídrico que tienen asignado los municipios para la prestación del servicio de agua potable.

También se propone la declaración de interés público de las medidas de adaptación y en su caso, mitigación al cambio climático en la administración del recurso.

Es importante también incorporar el uso ambiental, o para conservación ecológica, previsto en la Ley de Aguas Nacionales, que tiene como propósito conservar para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio de los ecosistemas.

Toda vez que el la utilidad pública es el fundamento de la expropiación, como una prerrogativa del Estado, prevista en el texto constitucional, es importante declarar la utilidad pública de las obras o actividades que se realicen con el objeto de implementar medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Para estar en condiciones de implementar mecanismos para el de servicios ambientales, debe atribuírsele dicha facultad al organismo operador, así como la de implementar mecanismos para el cobro y el pago de servicios ambientales, adicionalmente al consejo directivo se le deberá otorgar la facultad para autorizar las tarifas o cuotas que habrán de cobrarse por dichos servicios.

Ley de Fomento Apícola del Estado de Zacatecas.

La LGEEPA establece criterios para la preservación y el aprovechamiento sustentable de la flora y fauna silvestre con el objeto de proteger y conservar la flora y fauna del territorio nacional, contra la acción perjudicial de especies exóticas invasoras, plagas y enfermedades o la contaminación que pueda derivarse de actividades fitopecuarias, en virtud de lo cual es importante que en la realización de las actividades previstas en esta Ley se observe lo dispuesto en las leyes ambientales.

El cumplimiento del marco legal ambiental tiene como propósito evitar la realización de actividades de impactos ambientales significativos, particularmente en áreas protegidas o destinadas para la conservación o protección de ecosistemas.

Se propone también la prohibición expresa a la introducción, el traslado y la comercialización de razas o extirpes exóticas dentro del Estado, salvo cuando se realice con fines de investigación, previa autorización de la Autoridad Federal y de la Dirección, y en su caso de la autorización correspondiente en materia de impacto ambiental.

Ley de Fomento a las Actividades Realizadas por Organizaciones de la Sociedad Civil en el Estado de Zacatecas.

Conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental el aprovechamiento de los recursos naturales debe garantizar su sustentabilidad, en virtud de lo cual es pertinente que se establezca como uno de los objetos de esta Ley apoyar el aprovechamiento integral y sustentable de los recursos naturales, la protección del ambiente, la flora y la fauna, la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la implementación de medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y de adaptación a los efectos del cambio climático,

Asimismo, siendo la participación social un elemento fundamental para el funcionamiento adecuado de los instrumentos de política ambiental, es conveniente que el Instituto forme parte de la Comisión de Fomento de las Actividades de las Organizaciones de la Sociedad Civil.

Ley de Desarrollo Metropolitano del Estado de Zacatecas.

Lo dispuesto en los instrumentos ambientales que se basan en la planeación y/o el ordenamiento territorial debe ser observado por los instrumentos de desarrollo urbano, con el propósito de asegurar el crecimiento sostenible de los centros de población, razón por la cual se propone establecer que la planeación y los programas de desarrollo de las zonas metropolitanas además de observar lo establecido en los Planes Nacional, Estatal y Municipales de Desarrollo, y los criterios establecidos en la Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Zacatecas, deberá observarse lo dispuesto en los ordenamientos ecológicos territoriales regionales y locales, en las declaratorias de las áreas naturales protegidas federales y estatales en el Estado y sus programas de manejo, así como a lo previsto en la Estrategia Estatal de Cambio Climático.

Ley de Desarrollo Social Para el Estado y Municipios de Zacatecas.

Conforme a lo dispuesto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y en el texto que se propone para la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Zacatecas, debe incorporarse al texto de esta Ley la responsabilidad del Estado de promover el desarrollo integral y sustentable.

Se propone incorporar como aspectos prioritarios de los programas de desarrollo social los programas para la protección del ambiente, la preservación de los recursos naturales y de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Se propone que el Director del Instituto forme parte de la Comisión Intersecretarial de Desarrollo Social, habida cuenta de la importancia que tiene el mantener vinculados el desarrollo social, la sustentabilidad y la conservación del patrimonio natural.

Ley de Fomento para el Desarrollo Económico del Estado de Zacatecas.

Para articular el desarrollo democrático del Estado, además de atender las condiciones de vida en lo económico, social y cultural de la población, debe considerarse también la variante ambiental y promover además del desarrollo económico el desarrollo integral y sustentable.

Así como se precisa que el desarrollo debe ser integral y sustentable, las leyes ambientales establecen que el aprovechamiento de los recursos naturales debe asegurar su sustentabilidad, criterio que también debe incluirse en esta Ley.

Si bien la promoción del cumplimiento de ordenamientos jurídicos es importante, lo es también que se promueva de manera específica la protección del ambiente, la conservación de la biodiversidad, la preservación de los ecosistemas y el desarrollo integral y sustentable.

Es importante sujetar las estrategias económicas a lo dispuesto en la legislación ambiental, y de manera particular a los instrumentos ambientales territoriales, con el objeto de prevenir y controlar los daños al ambiente, a los ecosistemas y a los recursos naturales.

El Instituto debe participar en el Consejo Estatal para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, en atención a las facultades que éste tiene en materia de promoción y fomento de la actividad económica y de la infraestructura productiva.

Para promover y fomentar el desarrollo económico con estricta protección de los ecosistemas y sus componentes, tierra aire, agua, flora y fauna no es suficiente referir el respeto a los lineamientos en materia ambiental; es pertinente hacer referencia expresa a aquellos instrumentos que previenen el impacto ambiental y que resguardan el patrimonio natural.

Tanto la industria minera como la turística, se han caracterizado por los altos impactos ambientales que generan, por lo que debe condicionarse su desarrollo al estricto cumplimiento de lo dispuesto en las leyes ambientales y en aquellos instrumentos que previenen el impacto ambiental y resguardan el patrimonio natural.

Debe especificarse la posibilidad de otorgar incentivos para estimular las acciones de protección del ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Ley de Transporte, Tránsito y Vialidad del Estado de Zacatecas.

En la tarea de vigilar el desarrollo urbano, en materia de transporte, tránsito y vialidad, resulta de particular importancia la participación de las autoridades ambientales y no sólo las vinculadas al desarrollo urbano.

Considerando las limitadas capacidades y recursos de los ayuntamientos, los gobiernos estatales deben apoyarlos en las tareas que les corresponden en materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera proveniente de fuentes móviles.

Asimismo, además de la mejora del transporte público, deben impulsarse estrategias alternativas de movilidad urbana activa: ciclovías, andadores y rutas peatonales, etc.

Las acciones que se implementen al amparo de esta ley deben promover la prevención de daños ecológicos y ambientales asociados a la materia que regula esta Ley.

Para los efectos de esta Ley, pertinente incluir las atribuciones de los ayuntamientos previstas en la LGEEPA referentes a la contaminación a la atmósfera proveniente de fuentes móviles y que están vinculadas a las atribuciones que tienen en materia de tránsito y vialidad.

Se propone que la concesión para la prestación del servicio público de transporte se suspenda si la unidad no acredita el cumplimiento a lo dispuesto en la normatividad relativa a los límites máximos de emisión de contaminantes a la atmósfera, y que la reincidencia en el incumplimiento a lo dispuesto en las normas oficiales mexicanas relativas al límite máximo de emisiones a la atmósfera deba producir la revocación de la concesión del transporte público.

Ley de Fomento a la Ganadería del Estado de Zacatecas.

Conforme a lo dispuesto en las leyes ambientales, el aprovechamiento de los recursos naturales sólo puede permitirse si se asegura su sustentabilidad, esto es, su conservación. En tal virtud, es importante que las autoridades federales y estatales mantengan una estrecha coordinación para evitar en lo posible el cambio de uso de suelo forestal y la pérdida de recursos naturales como resultado de las actividades ganaderas.

No basta con asegurar la protección de los animales considerados “benéficos” para la ganadería, como lo dispone el texto actual de esta Ley; es importante además garantizar la conservación de la vida silvestre en general y de los ecosistemas. Es de particular interés la protección de los grandes carnívoros que fueron llevados al borde de la extinción (o como en el caso del oso gris, a su completa erradicación del territorio nacional), como parte de políticas de control que hoy en día han demostrado no solo su obsolescencia sino también su origen erróneo.

La ganadería es una de las causas más importantes del cambio de uso de suelo forestal y de los impactos ambientales y ecosistémicos asociados a dicha pérdida, por lo que el Ejecutivo Estatal debe propiciar la conservación y mejoramiento de las tierras de pastoreo, adaptar la actividad a los efectos del cambio climático, mitigar la generación de gases de efecto invernadero producidos por el sector y prevenir y controlar el crecimiento de la frontera ganadera a costa de ecosistemas naturales;

Mantener la dinámica de los ecosistemas asociados a esta actividad debe ser un requisito para que ésta pueda realizarse, razón por la cual es importante orientar los programas ganaderos de tal manera que evitar el cambio de uso de suelo forestal sea la prioridad.

Para todas las actividades económicas, existen instrumentos de política ambiental que tienen el propósito de prevenir, controlar y minimizar sus impactos. En el caso de la ganadería deben ser considerados particularmente los instrumentos que regulan el uso del suelo y que protegen la biodiversidad: impacto ambiental, ordenamientos ecológicos territoriales y áreas naturales protegidas.

La conversión de terrenos agrícolas a ganaderos no tiene impactos ambientales significativos como los tiene la conversión de terrenos forestales a ganaderos. El cambio de uso de suelo forestal requiere de evaluación de impacto ambiental y autorización del cambio de uso de suelo conforme a lo dispuesto en la LGEEPA y en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Ley para el Desarrollo Turístico del Estado de Zacatecas.

La preservación de los ecosistemas y de los servicios ambientales que en ellos se generan, y su manejo sustentable, son elementos determinantes del funcionamiento de los centros de población y de los desarrollos turísticos, en razón de lo cual deben ser considerados de manera invariable en las estrategias de crecimiento y desarrollo del sector.

En el texto actual de la Ley se establece la desregulación de trámites que obstaculicen el desarrollo del turismo en la Entidad. Sin embargo, la desregulación no se justifica de ninguna manera, ni siquiera como un elemento promotor de la inversión, menos cuando puede generar impactos importantes en materia ambiental. Por esta razón se propone establecer la posibilidad de la simplificación de trámites relativos al desarrollo del turismo en la Entidad, en un marco de cumplimiento de la legislación aplicable.

La Ley General de Turismo regula específicamente el turismo sustentable y no de aventura, por lo que se propone incorporar este término para alinear los conceptos con la normatividad federal.

Se propone establecer que el aprovechamiento turístico de la entidad respete lo dispuesto en las leyes ambientales así como lo previsto en la Estrategia Estatal de Cambio Climático, y en los ordenamientos ecológicos territoriales, las declaraciones de las áreas naturales protegidas y sus respectivos programas de manejo.

Es importante involucrar a las autoridades ambientales en la planeación territorial del desarrollo turístico, y de que sea considerada la importancia de establecer también reservas territoriales con fines de conservación del patrimonio natural y no sólo para asegurar el crecimiento de la actividad.

Conforme a lo dispuesto en las leyes ambientales, el aprovechamiento de los recursos naturales sólo puede permitirse si se asegura su sustentabilidad, esto es, su conservación. Se propone incorporar el concepto de patrimonio natural deriva de las reformas propuestas a la ley ambiental del estado.

La difusión de los valores ambientales y de la riqueza y variedad del patrimonio natural es una estrategia de promoción responsable y de gran impacto del turismo en el Estado.

Ley de Salud del Estado de Zacatecas.

Para armonizar y lograr la transversalidad que se requiere tanto en materia ambiental como de cambio climático, es importante conferir a las autoridades de salud, las facultades que les permitan orientar sus propias estrategias sectoriales a la atención de los impactos que puedan tener en la salud las condiciones ambientales y el cambio climático.

Se propone el establecimiento de una comisión integrada por esta Secretaría de Salud, el Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Zacatecas y los ayuntamientos para organizar, operar, supervisar y evaluar de manera coordinada los servicios relativos a: mercados y centros de abasto; construcciones; cementerios, crematorios y funerarias; limpieza pública; rastros; agua potable y alcantarillado; establos, granjas avícolas, porcícolas, apiarios y establecimientos similares; con relación a los cuales cuentan con facultades concurrentes con las que realizan las autoridades ambientales, por lo que se propone establecer mecanismos de coordinación para poder ejercer plenamente sus obligaciones legales.

Ley de Protección Civil del Estado de Zacatecas.

Las contingencias ambientales y las relativas a la gestión de residuos, particularmente los peligrosos, son competencia de las autoridades federales conforme a lo dispuesto en la LGEEPA y en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, por lo que deben preverse mecanismos de coordinación para llevar a cabo acciones de común acuerdo, destinadas a la protección de la población contra los peligros y riesgos que se presentan en la eventualidad de un desastre.

Asimismo, en materia de riesgo, las autoridades de los tres órdenes de gobierno deben coordinarse para concurrir de manera ordenada en el ejercicio de sus respectivas atribuciones.

En materia ambiental, conforme a lo dispuesto en la LGEEPA, a las autoridades correspondientes de los tres órdenes de gobierno les compete participar en la prevención y el control de emergencias y contingencias, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan.

Asimismo, debe contemplarse la participación de las fuerzas armadas para la atención de situaciones extraordinarias que requieran acciones inmediatas de protección civil, conforme a lo dispuesto en la Ley General de Protección Civil.

Ley de Educación del Estado de Zacatecas.

Es fundamental desarrollar en los educandos los valores ambientales, como elemento formador de ciudadanos más responsables y conscientes frente a la naturaleza, en razón de lo cual deben incorporarse a los planes de estudio asignatu-

ras que concienticen a los estudiantes sobre las implicaciones del cambio climático y la necesidad de promover el desarrollo sustentable; así como la importancia del consumo responsable que permita disminuir la generación de residuos e incentivar las actividades productivas sustentables.

Los programas educativos deben inculcar en los educandos la importancia de proteger el ambiente en todas sus dimensiones, para hacer de ellos ciudadanos más informados y consecuentemente más responsables. Además, el concepto de patrimonio natural incorporado en la ley ambiental del Estado debe ser difundido.

Toda vez que el cambio climático se ha constituido ya en un referente obligado al momento de integrar políticas públicas, es necesario que se difunda y se den a conocer sus causas y efectos, así como las medidas de mitigación y adaptación requeridas para estar en condiciones prevenir y responder adecuadamente.

También es importante complementar los programas de estudio con información referente al manejo sustentable de los recursos naturales, y a la mitigación de gases de efecto invernadero y a las medidas de adaptación a los efectos del cambio climático.

Asimismo, resulta de gran valía complementar la instrucción formal con programas especiales para fortalecer a los educandos en sus conocimientos y capacidades para la atención de los problemas ambientales.

Ley de Ciencia y Tecnología del Estado de Zacatecas.

La investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación también debe estar orientada hacia la atención de los problemas que implica el desarrollo sustentable, la conservación del patrimonio natural y el cambio climático, por lo que se propone vincular la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación, con el desarrollo socioeconómico, así como con la atención de los retos que implica el desarrollo integral y sustentable, la protección al ambiente, la conservación de la biodiversidad y el conocimiento sobre los efectos y evolución del cambio climático así como la mitigación y adaptación al cambio climático, en los ámbitos nacional, estatal, regional y municipal;

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable reconoce a las comunidades la propiedad de los recursos biológicos que forman parte de su territorio y del conocimiento que tengan sobre ellos, por lo que se propone identificar, revalorar y preservar los conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas y campesinas de la Entidad, en relación al uso de las variedades biológicas locales.

Deben desarrollarse mecanismos que orienten el quehacer científica hacia la protección del ambiente y la conservación del patrimonio natural.

Ley de Expropiación para el Estado de Zacatecas.

La causa de utilidad pública es el requisito que impone la Constitución al Estado para que éste pueda ejercer su facultad expropiatoria. Por esta razón y por la importancia que tiene la protección del ambiente, la conservación de la biodiversidad, la restauración de los ecosistemas, la preservación del patrimonio natural y la mitigación y adaptación del cambio climático, es importante que sean también consideradas como causa de utilidad pública.

Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Zacatecas.

A nivel mundial, el sector de la gestión de los residuos contribuye del 3 al 5 por ciento en las emisiones de gases de efecto invernadero provocados por el hombre, igualando las actuales emisiones de la aviación internacional y el transporte marítimo. Por tal razón, debe promoverse la mitigación, captura y conversión para su uso de los gases que se generan en la gestión y manejo de los residuos.

El manejo integral de los residuos debe considerar el desarrollo de procesos y la aplicación de tecnologías que permitan evitar la generación y/o la liberación de gases de efecto invernadero. El control, captura, reducción o conversión para su uso del metano que se genera en los vertederos de residuos, permitiría reducir considerablemente el impacto que produce a la atmósfera este sector.

La Estrategia Estatal de Cambio Climático deberá contemplar acciones y medidas a aplicar en el manejo y la gestión integral de residuos.

Conclusiones

El estudio realizado pone en evidencia la necesidad de realizar reformas legales tanto al marco constitucional como a diversas leyes vigentes en el Estado de Zacatecas, para incluir el tema de cambio climático en la planeación y ejecución de políticas de gobierno a nivel local. De llevar a cabo estas reformas, el gobierno del estado tendrá la posibilidad de diseñar acciones específicas para mitigar y adaptarse al cambio climático, además de establecer los arreglos institucionales que le permitan coordinar y ejecutar acciones efectivas en la materia.

Con la reciente publicación y entrada en vigor de la Ley General de Cambio Climático, el adecuar los marcos legales de las Entidades Federativas y el Distrito Federal, es una obligación legal, si bien algunas entidades federativas ya lo han hecho, Zacatecas presenta un rezago en el tema, por lo que en concordancia con lo dispuesto por la nueva ley general en comento, será menester del actual gobierno, sacar adelante las reformas que permitan hacer efectivo dicho marco legal para beneficio de las presentes y futuras generaciones de zacatecanos.

El presente trabajo servirá de base para que el gobierno del Estado de Zacatecas, haga efectivo dicho mandato y con ello, avance hacia la sustentabilidad garantizando el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar.

Acrónimos.

Anexo 31. Anexo 31 Ampliaciones del Ramo 16 Medio Ambiente y Recursos Naturales

CPEUM. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

DOF. Diario Oficial de la Federación.

GEI. Gases de efecto invernadero.

IEMAZ. Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Zacatecas.

LCCCh. Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas

LCCDF. Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y Desarrollo Sustentable para el Distrito Federal.

LCCQR. Ley de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo

LCCVer. Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los efectos del Cambio Climático.

LGCC. Ley General de Cambio Climático.

LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

LOAPF. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

PEF 2011. Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2011.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO CLIMATOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZACATECAS

Met. Cuauhtémoc J. Torres Díaz

Acrónimos:

CEAPA - Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado.

CLICOM - Climate Computing (Clima Computarizado).

CONAGUA - Comisión Nacional del Agua.

IEMAZ - Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Zacatecas.

ENSO - El Niño Oscilación del Sur

INE - Instituto Nacional de Ecología.

INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

NAO - Oscilación del Atlántico Norte

NPO - Oscilación de Pacífico Norte,

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental del Cambio Climático).

OMM - Organización Meteorológica Mundial.

ONU - Organización de las Naciones Unidas.

PDO - Oscilación Decanal del Pacífico

SAGARPA - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SMN - Servicio Meteorológico Nacional.

UAZ - Universidad Autónoma de Zacatecas.

UNEP - United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)

Introducción y objetivo



En los últimos años se han observado cambios importantes en el clima de la Tierra, los cuales han despertado el interés y preocupación de los meteorólogos y climatólogos del planeta. Como nunca se han invertido recursos para tratar de averiguar qué está ocasionando estos cambios en el clima y en el tiempo atmosférico.

El presente trabajo, está encaminado a obtener estas respuestas, para ello el Gobierno Federal por medio de SEMARNAT y del INE han acordado con el Gobierno Estatal de Zacatecas, el cual propuso al IEMAZ a realizar el presente trabajo, a su vez el IEMAZ contrató a la UAZ a ejecutar este proyecto de investigación.

El proyecto contempla los siguientes puntos, los cuales deben de ser completados con toda la información posible y disponible en todas las dependencias federales o estatales que se encuentren en la entidad.

El objetivo del presente proyecto es cubrir los puntos siguientes definidos por el IEMAZ:

R 3.1 Análisis Estadístico del Clima de las estaciones climatológicas y observatorios meteorológicos ubicados en el Estado de Zacatecas, desde sus inicios a la fecha (en función de la disponibilidad de datos y previa validación) y discusión de resultados y conclusiones:

Conformación de base de datos meteorológica e hidrológica diaria y mensual en el estado usada para la caracterización de los fenómenos meteorológicos;

Análisis para la variabilidad climática, las tendencias del tiempo y del clima a escala regional (detección de cambio climático).

- Temperatura máxima, media, mínima, mensual, anual y extremas;
- Precipitación pluvial; diaria, máxima diaria, promedio diario, mensual, máxima mensual, promedio mensual, anual, máxima anual y normal;
- Velocidad y Dirección del viento diario, mensual, anual y normal, que incluyan viento dominante primario, viento dominante secundario, viento máximo, rosas de viento porcentual que incluya los 16 rumbos a nivel mensual y anual.
- Humedad Relativa en porcentaje que incluya; la máxima, media y mínima mensual, anual y normal.
- Radiación UVa, UVb y Total; mensual, anual y normal.
- Presión Atmosférica; máxima, media, mínima y oscilación; mensual, anual y normal.
- Insolación y Nubosidad; máxima, media y mínima, mensual anual y normal.
- Oscilación térmica; media, máxima y mínima, mensual, anual y normal.

Las relaciones y tendencias que existen entre variables en materia de Cambio Climático y,

Normales: de 1881-1910, 1911-1940, 1941-1970, 1971-2000

Síntesis de información existente a nivel estatal en tema de impactos, vulnerabilidad y adaptación a la variabilidad, fenómenos hidrometeorológicos extremos y el cambio climático;

Identificación de sectores y sistemas prioritarios dentro del estado que se considerarán para realizar evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático en la siguiente etapa del proyecto. La priorización se basará, entre otros, en la definición de criterios de vulnerabilidad de estos sectores y sistemas ante la variabilidad y los efectos de cambio climático (intensificación del régimen de precipitación, aumento de la temperatura).

Finalmente después de una búsqueda de esta información por todas las dependencias federales y estatales, ha sido completada de la siguiente manera:

- Los puntos de temperaturas y precipitación fueron cubiertos por la red de CONAGUA, los observatorios y la red del INIFAP.
- El viento fue completado con la red del INIFAP y los dos observatorios.
- La humedad relativa igualmente con la red del INIFAP y los dos observatorios.
- La radiación solar ultravioleta por la estación de Ciencias de la Tierra.
- La presión atmosférica únicamente se cuenta con la información de los observatorios y por la estación de Ciencias de la Tierra.
- La insolación por los observatorios.
- La nubosidad por la red de CONAGUA y por observatorios.
- La oscilación de temperatura por la red de CONAGUA, los observatorios y la red del INIFAP.
- Las tendencias por las estaciones de CONAGUA que cumplieran con el requisito de 30 años de historial y por los dos observatorios.
- Las normales igualmente por las estaciones de CONAGUA que cumplieran con el requisito de 30 años de historial y por los dos observatorios. Esta información se actualizó a las últimas normales que se pueden elaborar, que son 1981-2010. Asimismo los archivos permiten elaborar fácilmente las normales que se deseen elaborar de cualquier periodo. Las normales anteriores, 1951-1980, se crearon a partir del observatorio de la Bufa y de pocas estaciones de CONAUA que contaban con este historial. Las normales 1921-1950 únicamente el observatorio de La Bufa
- El punto siguiente se cubre con los mapas de tendencias, donde se observan las regiones vulnerables a los cambios en precipitaciones y temperaturas.
- El punto final se cubre con el último capítulo, donde se explica el panorama de los últimos 30 años y el futuro inmediato, así como medidas que se pueden tomar para aminorar los efectos negativos del cambio en el clima.



ACTIVIDADES
Resultado 1: La revisión del marco legal.
R 1. 1. La revisión del marco legal estatal para incluir el cambio climático como criterio de planeación, así como la adaptación y, en su caso, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en las políticas sectoriales. Así como elaboración de propuestas de reforma que incluyan instrumentos que promuevan la transversalidad del tema de cambio climático en el diseño de políticas públicas.
Resultado 2: Fortalecimiento de Capacidades en materia de cambio climático para el IEMAZ y grupo de trabajo.
R 2. 1 Diagnóstico de necesidades de capacitación de los funcionarios del IEMAZ y del grupo técnico de trabajo en el tema de cambio climático así como propuesta desagregada de programa de capacitación y sensibilización de los funcionarios del Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado y del grupo de trabajo de las instituciones académicas que participan en el desarrollo de la Estrategia de Cambio Climático, en el tema de cambio climático;
Resultado 3 Estudios Diagnósticos de los impactos y costos (sociales, económicos y ambientales) de la variabilidad, fenómenos hidrometeorológicos extremos (heladas, sequías, ondas de calor, lluvias) y el cambio climático.
R 3. 1 Análisis Estadístico del Clima de las estaciones climatológicas y observatorios meteorológicos ubicados en el Estado de Zacatecas, desde sus inicios a la fecha (en función de la disponibilidad de datos y previa validación) y discusión de resultados y conclusiones: Conformación de base de datos meteorológica e hidrológica diaria y mensual en el estado usada para la caracterización de los fenómenos meteorológicos; Análisis de la variabilidad climática, las tendencias del tiempo y del clima a escala regional (detección de cambio climático). <ul style="list-style-type: none"> o Temperatura máxima, media, mínima, mensual, anual y extremas; o Precipitación pluvial; diaria, máxima diaria, promedio diario, mensual, máxima mensual, promedio mensual, anual, máxima anual y normal; o Velocidad y Dirección del viento diario, mensual, anual y normal, que incluyan viento dominante primario, viento dominante secundario, viento máximo, rosas de viento porcentual que incluya los 16 rumbos a nivel mensual y anual; o Humedad Relativa en porcentaje que incluya; la máxima, media y mínima mensual, anual y normal. o Radiación UVa, UVb y Total; mensual, anual y normal. o Presión Atmosférica; máxima, media mínima y oscilación; mensual, anual y normal. o Insolación y Nubosidad; máxima, media y mínima, mensual, anual y normal. o Oscilación térmica; media, máxima y mínima, mensual, anual y normal; <ul style="list-style-type: none"> • Las relaciones y tendencias que existen entre estas variables en materia de Cambio Climático y Normales: de 1881-1910, 1911-1940, 1941-1970, 1971-2000 • Síntesis de información existente a nivel estatal en el tema de impactos, vulnerabilidad y adaptación a la variabilidad, fenómenos hidrometeorológicos extremos y el cambio climático; • Identificación de sectores y sistemas prioritarios dentro del estado que se considerarán para realizar evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático en la siguiente etapa del proyecto. La priorización se basará, entre otros, en la definición de criterios de vulnerabilidad de estos sectores y sistemas ante la variabilidad y los efectos del cambio climático (intensificación del régimen de precipitación, aumento de la temperatura);
R 3. 2 Elaboración del balance energético estatal <ul style="list-style-type: none"> • Clasificación por fuente de producción y/o abastecimiento; • Clasificación cualitativa y cuantitativa para los sectores que sean propuestos por el INE. • Autogeneración de energía eléctrica, para consumo propio.
R 3. 3 Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el Estado tomando como año base 2005, sin considerar la categoría de cambio de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura. Este deberá incluir: <ul style="list-style-type: none"> • Integración y capacitación del grupo de trabajo que coordinará y desarrollará el inventario y los escenarios de emisiones de GEI, incluyendo las categorías y gases de efecto invernadero propuestas por el Protocolo de Kioto, incluyendo al uso de suelo cambio de uso de suelo y silvicultura.. • Recopilación y análisis de información para la integración en una base de datos y bajo las categorías propuestas con base en la metodología revisada del IPCC de 1996, para la realización del inventario estatal de emisiones de GEI. • Análisis de control de calidad y de la incertidumbre de la información con base a las guías de las buenas prácticas y estimación de incertidumbres del IPCC.. • Integración del inventario de emisiones de GEI al año 2005 y control de calidad de los resultados. • Identificación de oportunidades de mitigación por sector; • Describir los posibles pasos para determinar qué sectores serán en los que se realizaran las acciones para reducir emisiones de GEI. Como parte de esta actividad se va a calcular la huella de carbono en el Estado. Viáticos para expositores, capacitadores, supervisión* y seguimiento al proyecto.

*Las actividades de supervisión se acordarán de manera previa y concertada entre el IEMAZ y la UR de la SEMARNAT. Los viáticos estarán sujetos a la disponibilidad de recursos presupuestales ministrados. El Resultado 3 será desarrollado con la colaboración de la Universidad Autónoma de Zacatecas y la asesoría técnica del Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAT. El IEMAZ enviará a la UR los términos de referencia de los estudios técnicos a desarrollar como parte del proyecto.



Figura 1 Parte del oficio donde se basa el presente trabajo, el cual está determinado por el punto R 3. 1

Es conveniente tener en mente que, en el estado de Zacatecas existen dos dependencias federales que tienen información climatológica, la principal y oficial es la red de estaciones climatológicas de CONAGUA. Esta dependencia cuenta con más de 130 estaciones climatológicas y dos observatorios meteorológicos sinópticos. Aunque tiene 3 estaciones automáticas, la información de éstas no es muy confiable porque presenta muchas interrupciones y no tiene mucho historial. Sin embargo, tienen como 70 estaciones climatológicas con muy buen historial, el suficiente para poder hacer las normales climatológicas como indica la OMM¹ y de ahí las tendencias estadísticas.

La otra red de estaciones climatológicas la tiene el INIFAP. Ésta tiene 36 estaciones automáticas, distribuidas principalmente para estudios sobre agronomía. Sin embargo, aunque muy valiosa tiene poco historial, lo cual es una enorme desventaja para hacer estudios sobre cambio climático, empero se utilizó la información para generar otros productos y mapas, los cuales ayudan a tener una buena idea de cómo se presentan los campos de viento, de humedad y de radiación solar en el estado.

La Dirección Estatal de Protección Civil y Bomberos tiene contemplado instalar próximamente 10 estaciones meteorológicas automáticas en lugares aislados del estado, donde actualmente no se cuenta con información. Esta red complementará las dos redes anteriores para cubrir muy buena parte de la entidad Zacatecana.

Por su parte, la Unidad Académica de Ciencias de la Tierra de la UAZ, tiene instalada una estación meteorológica automática, con la desventaja que tiene información desde el 2009 únicamente. La ventaja radica en que mide y almacena datos de radiación ultravioleta.

Lo anterior expuesto representa la información climatológica disponible en la entidad y debido a que es mucha información, la mayor parte de ésta se entregó al IEMAZ en formato digital, sin embargo toda la información se utilizó para hacer el presente resumen y cabe aclarar que lo más destacado se encuentra en esta síntesis.

En la parte de cambio climático en Zacatecas se muestra la síntesis de cómo se está viendo afectado el estado por el cambio del clima, asimismo se especifican las regiones del estado más afectadas y en capítulo de conclusiones se dan sugerencias de cómo aminorar los efectos del cambio climático.

1 Función de las normales climatológicas en clima cambiante WCDMP-Nº. 61 OMM-TD N°. 1377

A high-speed photograph of water splashing, creating a dynamic and textured scene with various droplets and ripples. The water is captured in mid-air, with some droplets in sharp focus and others blurred in the background, all set against a deep blue background.

Capítulo I

Base de datos de CONAGUA

1.1 Estaciones de CONAGUA

La red de estaciones climatológicas operadas por la CONAGUA Dirección Local Zacatecas, consta de 132 unidades; de las cuales 128 (dos ellas son observatorios ubicados en Zacatecas y Sombrerete) están inscritas a una base de datos digital denominada Clima COMputarizado (CLICOM)², que cuenta con carácter oficial en el país y que es dirigida por el SMN. Esta base de datos contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales.

Las variables climatológicas que registran son las siguientes: *Temperatura ambiente, máxima, mínima, precipitación y evaporación.*

Además, un gratificado, que es la persona que se encarga de recabar diariamente la información de las variables anteriormente definidas en una estación climatológica, además de registrar los fenómenos diversos que son: tormenta eléctrica, granizo, niebla y nubosidad; así como del mantenimiento de la estación.

Por tener estos atributos, se eligió a este sistema para realizar el estudio y evaluación climática del estado de Zacatecas, ya que cuenta con una red de estaciones adecuada y la mejor cobertura territorial a lo largo y ancho del estado.

in embargo, la información de CLICOM presenta un retraso en lo que su actualización se refiere. Este retraso puede variar desde algunos meses hasta varios años y está relacionado básicamente con dificultades de acceso a los datos en papel y con retrasos en el proceso de digitalización de la información y que varía entre las diversas estaciones climatológicas.

Además de los datos faltantes, puede haber en la serie de tiempo valores extraños que no cumplan con el comportamiento habitual de la variable en cuestión. Estos datos sospechosos pueden ser de origen humano como en el caso de los errores realizados durante la digitación de los datos, errores sistemáticos por mala calibración o reemplazo de los instrumentos, cambio de ubicación de la estación o cambio de observador³, aunque también podrían ser registros verídicos de la ocurrencia de eventos extremos.

A pesar de ello, se implementó una compleja campaña para lograr la actualización y validez de dicha base de datos para lograr una mayor calidad en los resultados y productos que se podrían generar.

La tabla describe la relación de las estaciones operadas por la CONAGUA inscritas en el sistema CLICOM (Tabla 1.1.1). Se menciona su clave, nombre, municipio y fecha de inicio

² Datos climáticos de la República Mexicana: panorama actual y requerimientos inmediatos. Jorge Luis Vázquez-Aguirre

³ Jones, P.D., T.J. Osborn, and K.R. Briffa (1997). Estimating sampling errors in large-scale temperature averages, *J. Climate*, 10, 2548-2568.

Clave	Estación	Municipio	Inicio
32001	Agua Nueva	Villa de Cos	1964
32002	San Cayetano EC (Boca del Tesorero)	Jerez	1969
32003	Calera INIFAP	Calera	1957
32004	Camacho	Mazapil	1940
32005	Canitas de Felipe Pescador	Cañitas de Felipe Pescador	1941
32006	Pr. El Cazadero II EC	Saín Alto	1963
32007	Cedros	Mazapil	1971
32009	Jerez	Jerez	1961
32010	Caopas	Mazapil	1970
32011	Concepción de la Norma	Mazapil	1944
32013	Pr. El Chique EC	Tabasco	1961
32015	El Rucio	Villa Hidalgo	1967
32016	El Platanito EC	Valparaíso	1957
32018	Pr. Leobardo Reynoso (El Sauz II EC)	Fresnillo	1939
32019	Pr. Miguel Aleman (Excame EC)	Tepechtlán	1946
32020	Fresnillo	Fresnillo	1949
32021	Col. González Ortega	Sombrerete	1970
32022	Gruñidora	Mazapil	1963
32024	Gral. Gpe Victoria	Noria de Ángeles	1971
32025	Huanusco EC	Huanusco	1967
32027	Jiménez del Téul	Jiménez del Téul	1962
32028	Juan Aldama	Juan Aldama	1963
32029	Juchipila	Juchipila	1971
32030	La Florida EC	Valparaíso	1950
32031	La Bufo Observatorio	Zacatecas	1983
32032	Pr. La Villita EC	Tepechtlán	1957
32033	Loreto	Loreto	1963
32034	Puertos de San Fco.	Sombrerete	1970
32036	Mazapil	Mazapil	1941
32037	Monte Escobedo	Monte Escobedo	1963
32038	Nieves	General Francisco R. Murguía	1942
32039	Nochistlán	Nochistlán de Mejía	1949
32040	Nuevo Mercurio	Mazapil	1969
32041	Ojocaliente	Ojocaliente	1961
32042	Pr. Palomas San Tadeo de las Flores EC	Villanueva	1966
32045	Río Grande	Río Grande	1922
32046	Sain Alto	Saín Alto	1942
32047	San Antonio del Ciprés	Pánuco	1969
32048	San Benito	Mazapil	1969
32049	Rancho San Fco. de los Gallardos	General Francisco R. Murguía	1944
32050	San Gil	General Francisco R. Murguía	1969
32051	San Pedro Piedra Gorda	Cuauhtémoc	1942

32052	Ejido San Rafael	Mazapil	1944
32053	EC Pr. Sta Rosa	Fresnillo	1941
32054	Sombrerete Observatorio	Sombrerete	1921
32055	Tayahua	Villanueva	1965
32057	Tlaltenango	Tlaltenango de Sánchez Román	1961
32058	Trancoso	Trancoso	1961
32059	Villa de Cos	Villa de Cos	1988
32060	Villa García	Villa García	1961
32061	Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	1966
32063	Zacatecas	Zacatecas	1971
32065	Chalchihuites	Chalchihuites	1960
32068	Pinos	Pinos	1902
32069	San Juan Capistrano	Valparaíso	1972
32070	Teúl de González Ortega	Teúl de González Ortega	1962
32073	Villanueva	Villanueva	1961
32078	San Tiburcio	Mazapil	1972
32084	San Andrés	Villa de Cos	1972
32085	Santa Lucía	Valparaíso	1972
32087	Concepción del Oro	Concepción del Oro	1961
32093	El Arenal	Sombrerete	1973
32095	Santa Cruz de Tepetates (Pajaritos de la Sierra)	Valparaíso	1974
32097	Tenayuca	Apozol	1965
32098	Valparaíso	Valparaíso	1974
32099	Presa Malpaso	Villanueva	1975
32100	Pr. Lobatos (San Isidro de los Glez. EC)	Valparaíso	1976
32101	San José de los Llanetes	Valparaíso	1976
32103	Ameca La Vieja	Valparaíso	1976
32105	Tlachichila	Nochistlán de Mejía	1977
32106	Cueva Grande	Valparaíso	1977
32107	Sierra Hermosa	Villa de Cos	1977
32108	Corrales	Sombrerete	1977
32109	San Pedro de la Sierra	Valparaíso	1977
32110	Purísima de Sifuentes Col. Grever	Villa de Cos	1978
32111	Jalpa	Jalpa	1978
32112	Milpillas de Allende	Teúl de González Ortega	1978
32113	Pastoría	Monte Escobedo	1978
32114	Villa González Ortega	Villa González Ortega	1978
32116	Adjuntas del Refugio	Valparaíso	1979
32117	Acatita de Arriba (Las Animas)	Valparaíso	1979
32118	Los Campos	Villa García	1979
32119	Felipe Ángeles	Villanueva	1980
32120	Genaro Codina	Genaro Codina	1979

32121	Guadalupe CONAGUA	Guadalupe	1979
32122	Luis Moya	Luis Moya	1979
32123	Mesillas	Sombrerete	1980
32124	Momax	Momax	1979
32125	Moyahua de Estrada	Moyahua de Estrada	1980
32126	Palmillas	Ojocaliente	1979
32127	Pino Suarez	Pinos	1979
32129	Susticacán	Susticacán	1979
32130	El Romerillo	Valparaíso	1979
32131	San Jerónimo	Guadalupe	1978
32132	Tepetongo	Tepetongo	1979
32133	Felipe Ángeles	Sombrerete	1979
32134	Milpillas de la Sierra	Valparaíso	1980
32135	Potrero de Gallegos	Valparaíso	1981
32136	Vicente Guerrero EA EC	Monte Escobedo	1981
32137	Chichimequillas	Fresnillo	1981
32139	Huitzila	Teúl de González Ortega	1982
32140	Mezquital del Oro	Mezquital del Oro	1982
32141	El Salvador	El Salvador	1982
32142	Tierra y Libertad	Villa de Cos	1982
32143	García de la Cadena	Trinidad García de la Cadena	1985
32144	San Fco. OCCCN EC	General Francisco R. Murguía	1986
32148	Las Huertas	Concepción del Oro	2005
32150	San Jerónimo	Melchor Ocampo	2005
32151	Sierra Vieja	Villa de Cos	2005
32171	Miguel Auza	Miguel Auza	2003
32172	Rancho Grande	Fresnillo	1998
32173	El Peñasco	General Enrique Estrada	2001
32174	Llano Blanco R Cermo	Pánuco	2001
32176	Sauceda de La Borda	Vetagrande	2001
32177	Nuevo Tampico	Mazapil	1995
32179	Melchor Ocampo	Melchor Ocampo	2000
32180	Gral. Joaquín Amaro	Plateado de Joaquín Amaro, El	2001
32181	La Pitaya (El Tecomate EC)	Jalpa	2006
32182	Palma Cuata	Apozol	2006
32183	Atolinga	Atolinga	2006
32184	Los Fresnos	Tlaltenango de Sánchez Román	1985
32186	El Saladillo	General Pánfilo Natera	2001
32187	Espíritu Santo	Pinos	1984
32188	El Nigromante	Pinos	1987
32189	Pr. Sta Teresa EC	Monte Escobedo	2000
32190	Pr. Achimec EC	Tepetongo	1995
32191	Campo 8 La Honda Miguel Auza	Miguel Auza	2001

Tabla 1.1.1 lista de Estaciones Climatológicas

A continuación se muestra la ubicación geográfica de las estaciones climatológicas que administra CONAGUA (Figura 1.1.1).



Figura 1.1.1 Mapa de Estaciones Climatológicas

1.2 Captura de información

Aquí se necesario darle importancia a un hecho que muchas veces se da por establecido y es lo referente a la calidad y captura de la información. El investigador que piensa que la base de datos está lista para empezar a trabajar, encontrará que esto no es así. Encontrar bases de datos climatológicas completas y sin errores es prácticamente imposible. Aquí se encuentra el principal obstáculo y donde más tiempo se requiere. No se puede empezar a trabajar si se tienen datos incompletos o de dudosa calidad. Por tal motivo, aquí radica el principal problema y es donde más tiempo se toma cualquier investigación profunda: “Trabajar con bases de datos completas y confiables”. En climatología se afirma: “más vale no tener un dato, que tener un dato erróneo”. Por lo que hay tener mucho cuidado y analizar la información para saber si meteorológica y termodinamicamente un dato es posible.

Así que, con el fin de disponer de una base de datos completa y actualizada de las estaciones climatológicas con las cuales trabajar, se procedió a la recopilación y posterior captura de los datos faltantes que se identificaron en los archivos digitales existentes.

Inicialmente se llegó a pensar que sólo se requeriría rellenar pequeños huecos de información, sin embargo, la tarea resultó difícil dada la enorme cantidad de datos extraviados o que no se capturaron oportunamente.

En un principio, se encontraron resultados positivos al hallar en muy buenas condiciones una parte del archivo físico que resguardaba la CONAGUA. Sin embargo, la misión se complicó al ver el desastroso estado del resto de la información.

La base de datos que se requirió, debía presentar información diaria. En la tabla 1.2.1 se indica la información extraída de los formatos mensuales capturados, con excepción del número 1 y 91, ya que estos son calculados posteriormente, agilizando un poco la captura.

CLAVE	ELEMENTO
1	Temperatura ambiente 08 hs. °C
2	Temperatura máxima °C
3	Temperatura mínima °C
5	Precipitación 24 hs. mm
18	Evaporación 24 hs. mm
30	Días c/tormenta (0 no hay, 1 si hay)
31	Días c/granizo (0 no hay, 1 si hay)
32	Días c/niebla (0 no hay, 1 si hay)
43	Cobertura nubosa (0 despejado, 1 medio nublado, 2 nublado)
91	Días c/helada (0 no hay, 1 si hay)

Tabla 1.2.1 Clave del elemento

La información física que se obtuvo, se encontró en tres formatos diferentes en hojas CLICOM, de los cuales se fotocopió ahí mismo en la CONAGUA para captura posterior.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA UNIDAD DE HIDROMETEOROLOGIA
OBSERVACIONES CLIMATOLOGICAS HECHAS A LAS 8 HORAS

LATITUD: 22 44 47 LONGITUD: 102 30 23 ALTITUD: 2 252 MES: Julio AÑO: 04

DIVISION: 216 MUNICIPIO: GUADALUPE ESTADO: ZACATECAS ESTACION: GUADALUPE

TERMOBETRO AL ABRIGO: 23 2 MICROMETRO: 5-71

ESTADO DEL TIEMPO: 0 T NIE

RESUMEN MENSUAL

TEMPERATURAS EN GRADOS CENTIGRAOS

MAX EN EL MES: 36.6 °C Dia 23

MIN EN EL MES: 5.9 °C Dia 11

MEDIA EN EL MES: 18.2 °C

LLUVIA APRECIABLE EN mm.

Maxima en 24 hrs: 0.8 mm Dia 1

Media en 24 hrs: 0.8 mm Dia 1

Total en el mes: 0.8 mm

EVAPORACION EN mm.

Maxima en 24 hrs: 73.65 mm Dia 8

Media en 24 hrs: 2.89 mm Dia 3

Total en el mes: 287.96 mm

NUMERO DE DIAS

Nubosidad o niebla: 1 Dia

Nubosidad eléctrica: 0 Dias

Con granizo o nieve: 0 Dias

Con heladas: 0 Dias

Con granizo: 0 Dias

DESPEJADOS: 5 Dias

MEDIO NUBLADOS: 21 Dias

NUBLADOS: 4 Dias

FECHA DE ENTREGA AL CALCULISTA

Figura 1.2.1 Formato CLICOM # 1

La Figura 1.2.1 muestra el formato más antiguo, está registrado de forma manuscrita, como se puede observar, presenta, en algunas ocasiones, incertidumbre en el valor del dato de interés. En la precipitación cuando aparece INAP (inapreciable) se dió un valor de 0.01 mm. En el caso de los fenómenos diversos, la tormenta eléctrica aparece con un simbolo similar a una R; el granizo con un triangulo y la niebla con tres lineas cortas paralelas; para la nubosidad es la ultima columna se repesanta con el círculo, cuando está vacío tiene un valor de 0, sombreado a la mitad es 1 y completamente lleno el círculo un 2.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
UNIDAD DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
SUB-GERENCIA DE SISTEMAS
OBSERVACIONES CLIMATOLOGICAS HECHAS A LAS 8 HORAS

LATITUD: 22° 44' 47" N LONGITUD: 102° 30' 23" W ALTITUD: 2,258.0 msnm MES: ABRIL AÑO: 2007

MUNICIPIO: GUADALUPE ESTADO: ZACATECAS NOMBRE ESTACION: GUADALUPE CLAVE CLICOM: 32121

GERENCIA REGIONAL: GRCCN REGION HIDROLOGICA: 37 CUENCA: FRESNILLO YESCAS

TERMOBETRO AL ABRIGO: 23 2 MICROMETRO: 5-71

ESTADO DEL TIEMPO A LA HORA DE LA OBSERVACION: 0 T NIE

RESUMEN MENSUAL

TEMPERATURAS EN GRADOS CENTIGRAOS

MAX EN EL MES: 36.6 °C Dia 23

MIN EN EL MES: 5.9 °C Dia 11

MEDIA EN EL MES: 18.2 °C

LLUVIA APRECIABLE EN mm.

Maxima en 24 hrs: 0.8 mm Dia 1

Media en 24 hrs: 0.8 mm Dia 1

Total en el mes: 0.8 mm

EVAPORACION EN mm.

Maxima en 24 hrs: 73.65 mm Dia 8

Media en 24 hrs: 2.89 mm Dia 3

Total en el mes: 287.96 mm

NUMERO DE DIAS

Nubosidad o niebla: 1 Dia

Nubosidad eléctrica: 0 Dias

Con granizo o nieve: 0 Dias

Con heladas: 0 Dias

Con granizo: 0 Dias

DESPEJADOS: 5 Dias

MEDIO NUBLADOS: 21 Dias

NUBLADOS: 4 Dias

FECHA: 2007-04-30

FECHA DE ENTREGA AL CALCULISTA

Figura 1.2.3 Formato CLICOM # 3

Figura 1.2.3. En este ultimo formato, resultado más fácil capturar ya que, proporciona las cifras más claras. La temperatura máxima, mínima, precipitación y evaporación se capturo igual que en los otros formatos. Para la lluvia inapreciable, aquí aparece una columna pequeña a la derecha de precipitación y cuando es el caso se presenta con una T, también damos 0.01. Para los fenómenos diversos ya tiene indicado cuando se presenta tormenta, granizo o niebla con 0 o 1. Nubosidad es 0, 1 o 2.

A continuación, se presenta una lista con el nombre de las estaciones que requirieron capturar información, además de indicar cuantos años y meses en cada una.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUB-GERENCIA DE INGENIERIA UNIDAD DE HIDROMETEOROLOGIA
OBSERVACIONES CLIMATOLOGICAS HECHAS A LAS 8 HORAS

LATITUD: 22 44 47 LONGITUD: 102 30 23 ALTITUD: 2 252 MES: FEBRERO AÑO: 2006

DIVISION: 216 MUNICIPIO: GUADALUPE ESTADO: ZACATECAS ESTACION: EL ROMEROLO

TERMOBETRO AL ABRIGO: 23 2 MICROMETRO: 5-71

ESTADO DEL TIEMPO A LA HORA DE LA OBSERVACION: 0 T NIE

RESUMEN MENSUAL

TEMPERATURAS EN GRADOS CENTIGRAOS

MAX EN EL MES: 26.5 °C Dia 27

MIN EN EL MES: 5.9 °C Dia 11

MEDIA EN EL MES: 14.1 °C

LLUVIA EN mm.

Maxima en 24 hrs: 32.5 mm Dia 4

Media en 24 hrs: 3.2 mm Dia 24

Total en el mes: 88.0 mm

EVAPORACION EN mm.

Maxima en 24 hrs: 6.3 mm Dia 30

Media en 24 hrs: 2.28 mm Dia 17

Total en el mes: 36.28 mm

NUMERO DE DIAS

Nubosidad o niebla: 6 Dias

Nubosidad eléctrica: 0 Dias

Con granizo o nieve: 0 Dias

Con heladas: 0 Dias

Con granizo: 0 Dias

DESPEJADOS: 13 Dias

MEDIO NUBLADOS: 13 Dias

NUBLADOS: 13 Dias

FECHA: 2006-02-28

FECHA DE ENTREGA AL CALCULISTA

Figura 1.2.2 Formato CLICOM # 2

Figura 1.2.2. En este segundo formato los datos son capturados igual que en el anterior, en comparación al primero, además para los fenómenos diversos solo especifica nubosidad (0 despejado, 1 medio nublado y 2 nublado).

Clave	Estación	Municipio	Captura	
			Años	Meses
32001	Agua Nueva	Villa de Cos	3	
32004	Camacho	Mazapil	2	
32005	Cañitas de Felipe Pescador	Cañitas de Felipe Pescador	3	
32006	Pr. El Cazadero II EC	Rio Grande	4	8
32009	Jerez de García Salinas	Jerez	3	
32010	Coapas	Mazapil	3	8
32011	Concepción de la Norma	Mazapil	2	1
32013	Pr. El Chique EC	Tabasco	2	6
32015	El Rucio EC	Villa Hidalgo	1	2
32016	El Platanito EC	Valparaíso	3	9
32018	Pr. Leobardo Reynoso (El Sauz II EC)	Fresnillo	4	10
32019	Pr. Miguel Alemán (Excame EC)	Tepechitlán	2	3
32020	Fresnillo	Fresnillo	5	1

32021	Col. González Ortega	Sombrerete	1	3
32022	La Gruñidora	Mazapil	2	5
32024	Gral. Guadalupe Victoria	Noria de Ángeles	1	2
32027	Jiménez del Téul	Jiménez del Téul	3	9
32028	Juan Aldama	Juan Aldama	4	
32030	La Florida EC	Valparaíso	2	11
32032	Pr. La Villita EC	Tepechitlán	2	7
32033	Loreto	Loreto	4	3
32034	Puerto San Francisco	Sombrerete	1	9
32036	Mazapil	Mazapil	1	
32037	Monte Escobedo	Monte Escobedo	4	10
32038	Nieves	Gral. Francisco R. Murguía	1	11
32039	Nochistlán	Nochistlán De Mejía	4	1
32040	Nuevo Mercurio	Mazapil	1	3
32041	Ojocaliente	Ojocaliente	7	5
32042	Palomas	Villanueva	2	11
32045	Río Grande	Río Grande	4	1
32046	Saín Alto	Saín Alto	1	1
32047	San Antonio del Ciprés	Pánuco	1	6
32048	San Benito	Mazapil	2	1
32049	Rancho San Francisco	Gral. Francisco R. Murguía	1	7
32050	San Gil	Gral. Francisco R. Murguía	1	
32051	S. Pedro Piedra Gorda	Cuauhtémoc	5	
32052	San Rafael	Mazapil	1	7
32053	Santa Rosa	Fresnillo	4	2
32055	Tayahua	Villanueva	3	9
32057	Tlaltenango de Sánchez Román	Tlaltenango de Sánchez Román	3	3
32058	Trancoso	Trancoso	1	5
32059	Villa de Cos	Villa de Cos	3	3
32061	Villa Hidalgo	Villa Hidalgo		6
32065	Chalchihuites	Chalchihuites	3	7
32070	Teúl de González Ortega	Teúl de González Ortega	4	8
32072	Villa García	Villa García	5	
32073	Villanueva	Villanueva	9	7
32078	San Tiburcio	Mazapil		1
32084	San Andrés	Villa de Cos	3	9
32086	Zacatecas	Zacatecas	5	3
32093	El Arenal	Sombrerete	4	2
32095	Santa Cruz de Tepetates (Pajaritos de la Sierra)	Valparaíso	5	3

32097	Tenayuca	Apozol	2	3
32098	Valparaíso	Valparaíso	3	5
32099	Malpaso	Villanueva	1	
32100	Pr. Lobatos (San Isidro de los Glez. EC)	Valparaíso	4	7
32101	San José de los Llanetes	Valparaíso	3	2
32103	Ameca La Vieja	Valparaíso	4	
32105	Tlachichila	Nochistlán de Mejía	2	6
32106	Cueva Grande	Valparaíso	1	
32107	Sierra Hermosa	Villa de Cos	1	5
32108	Corrales	Sombrerete	1	6
32109	San Pedro de la Sierra	Valparaíso	3	1
32111	Jalpa	Jalpa	5	
32112	Milpillas de Allende	Teúl de González Ortega	1	10
32113	Pastoría	Monte Escobedo	2	1
32114	Villa González Ortega	Villa González Ortega		5
32116	Adjuntas del Refugio	Valparaíso	5	6
32118	Los Campos	Villa García	1	5
32119	Felipe Ángeles	Villanueva	3	6
32120	Genaro Codina	Genaro Codina	2	
32121	Guadalupe CONAGUA	Guadalupe	5	
32122	Luis Moya	Luis Moya	2	4
32123	Mesillas	Sombrerete	1	1
32125	Moyahua de Estrada	Moyahua de Estrada	2	6
32126	Palmillas	Ojocaliente		6
32127	Pino Suarez	Pinos		10
32129	Pr. Susticacan	Susticacan	3	4
32130	El Romerillo	Valparaíso	2	4
32131	San Jerónimo	Guadalupe	4	
32132	Tepetongo	Tepetongo	5	
32133	Felipe Ángeles	Sombrerete	2	
32135	Potrero de Gallegos	Valparaíso	3	
32137	Chichimequillas	Fresnillo	1	4
32140	Mezquital del Oro	Mezquital del Oro	3	7
32142	Tierra y Libertad	Villa de Cos	2	2
32143	García de la Cadena	Trinidad García de la Cadena	3	5
32187	Espíritu Santo	Pinos		4
TOTAL			227	354

Tabla 1.2.2 Lista de estaciones capturadas

TOTAL CAPTURA= 256 años 6 meses

Los problemas principales que se encontraron fueron: archivo físico en estado realmente inconveniente, con mucho polvo, etc., entre otras cosas desagradables. Lamentablemente debido a esta situación, mucha de esta información se ha perdido y nunca se podrá recuperar.

En síntesis, para la realización de este proyecto, éste fue el principal problema que se presentó, que es la falta de información capturada, confiable y en buen estado físico.

La captura de toda esta información implicó un tremendo esfuerzo y es lo que al final retrasó todo el proyecto, ya

que se terminó con toda la captura hasta mediados del mes de diciembre.

El problema siguiente fue la validación de la información, ya que ésta presenta muchísimos errores y para su validación se tuvo que verificar en muchas ocasiones los datos diarios.

Para dar una idea de este proceso de captura, por cada hoja de formato mensual se requiere invertirlle un tiempo de 10 a 15 minutos.

1.3 Procedimiento para el cálculo de temperatura máxima, mínimas precipitación y evaporación

Se comienza a partir de una base de datos diarios en formato Excel, la cual contiene todos los elementos a calcular como lo muestra la tabla 1.3.1. En este apartado se abordará el elemento 2 que corresponde a la temperatura máxima, el elemento 3 que corresponde a temperatura mínima, el elemento 5 que corresponde a la precipitación y el elemento 18 que corresponde a la evaporación.

ESTACION	ELE	AÑO_M	DIA																			
32099	1	1975-02	11	8	10	9	10	5	7	5	8	6	7	8	10	5	7	8	8	8	7	8
32099	2	1975-02	26	24	19	27	26	27	26	26	26	26	27	26	25	28	26	25	28	26	25	27
32099	3	1975-02	9	6	6	8.5	6	3	3	2	4	3	4	4	6	1	2	4	5	5.5	6	7
32099	5	1975-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32099	18	1975-02	4.2	4.5	4.7	5.3	5.4	5	4.7	5.1	6.3	4.1	5.2	4.8	4.7	5.1	3.3	4.5	3.7	5.7	5.4	4.3
32099	30	1975-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32099	31	1975-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32099	32	1975-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32099	43	1975-02	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Tabla 1.3.1 Base de datos diarios.

De la base de datos diarios, mediante la herramienta filtro, se separa el elemento de interés para copiar todo el contenido y pasarlo a otro archivo de Excel que realizará varios procedimientos en Visual BASIC como se observa en la figura 1.3.1. La figura 1.3.2 muestra las macros que ejecutan esos procedimientos, los cuales consisten en crear archivos en formato txt como se observa en la figura 1.3.3, que es leído para acomodar los datos en el orden deseado, obteniendo así los promedios mensuales y anuales de estas variables. Los archivos generados se utilizarán luego para realizar normales y posteriormente tendencias. Se seguirá el mismo procedimiento para cada uno de los elementos antes mencionados.

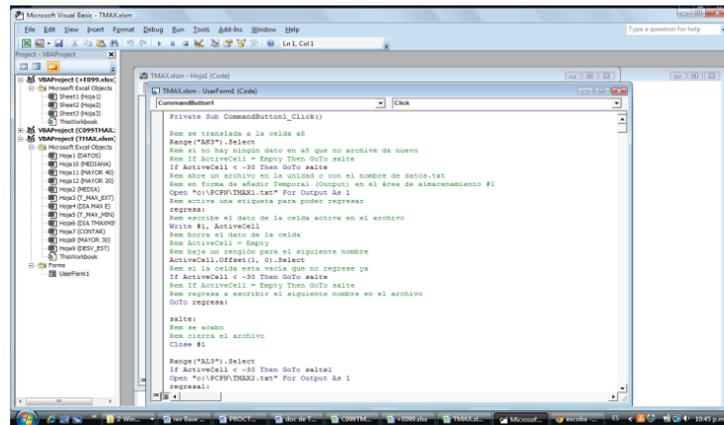


Figura 1.3.1 Microsoft Visual Basic.

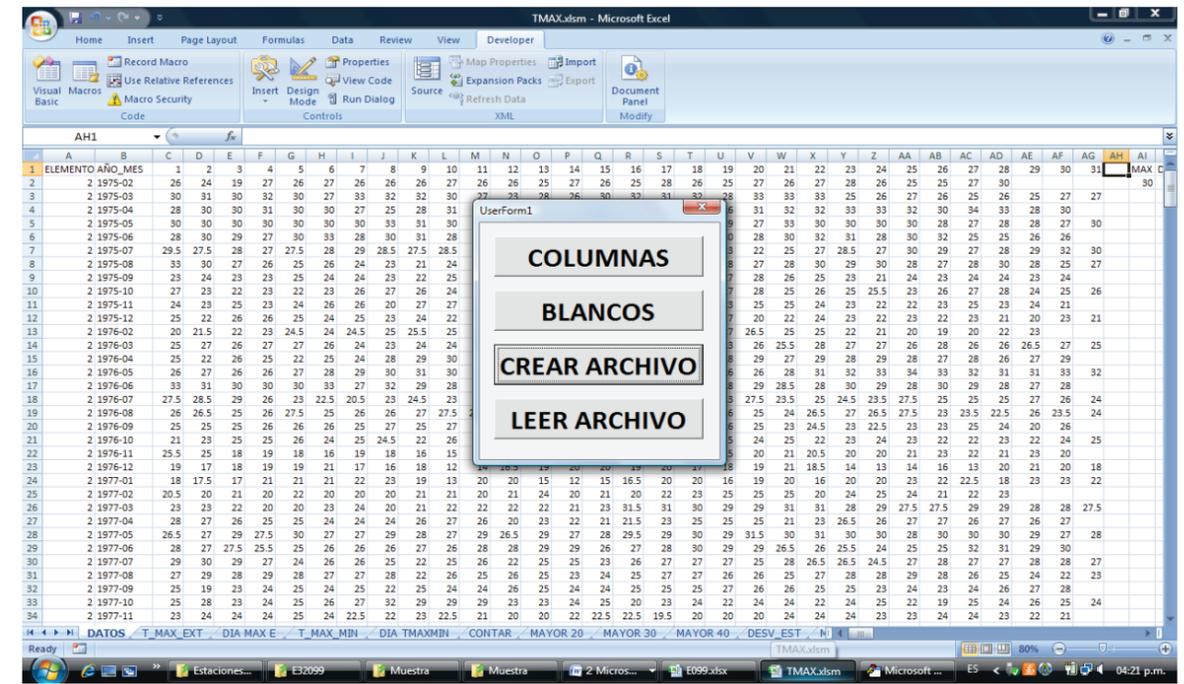


Figura 1.3.2 Menú de procesamientos.

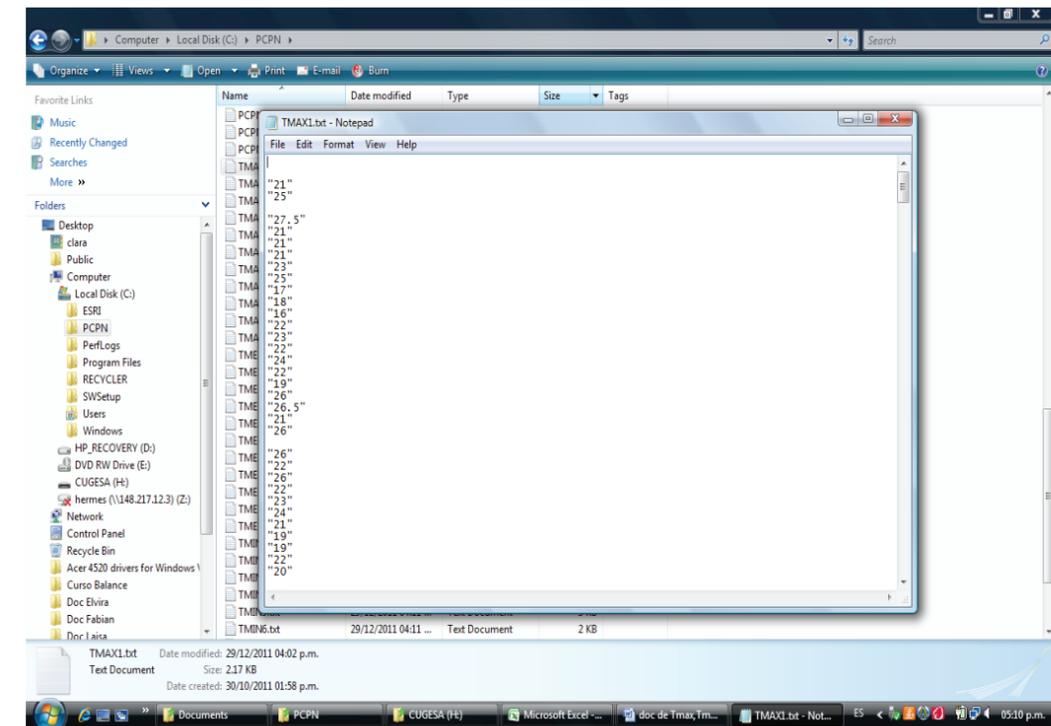


Figura 1.3.3 Archivo en formato txt de temperatura máxima.

En lo que respecta al elemento 2, temperatura máxima, se obtendrá lo siguiente: temperatura máxima extrema, día de la temperatura máxima extrema, temperatura máxima extrema mínima, día de la temperatura máxima extrema mínima, número de datos, temperatura mayor a 20°, temperatura mayor a 30°, temperatura mayor a 40°, desviación estándar, temperatura mediana, temperatura media. Para el elemento 3, temperatura mínima, será: temperatura mínima extrema, día de la temperatura mínima extrema, temperatura mínima extrema máxima, día de la temperatura mínima extrema

ELEMENTO	AÑO_MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
3	1961-01	10	8	7	8	9	8	8	9	9	10	8	7	5	8	6	9	9	10	11	9	5	5	5	6	6	5	5	7	9	9	9	
3	1961-02	9	7	5	8	8	9	4	5	7	6	3	7	5	6	8	8	9	10	11	10	7	5	8	8	8	8	9	12	9	11	10	
3	1961-03	13	12	13	10	10	10	9	9	10	11	12	10	10	9	10	12	9	9	7	12	10	9	9	7	12	10	9	9	11	10		
3	1961-04	16	16	14	13	15	15	15	16	16	13	15	13	14	15	13	14	15	15	15	16	15	15	13	13	16	15	14	14	13	13	16	
3	1961-05	16	16	14	13	15	15	15	15	16	16	13	14	15	13	14	15	15	15	15	15	16	15	13	13	16	15	14	14	13	13	16	
3	1961-06	18	18	18	18	17	15	17	15	18	19	14	14	18	17	16	16	16	14	14	17	17	13	13	15	15	16	17	15	14	16		
3	1961-07	14	15	15	14	13	14	15	16	16	14	14	16	14	16	14	15	15	16	15	16	14	14	13	15	16	15	16	15	15	17		
3	1961-08	15	16	14	16	13	14	15	14	14	13	14	14	12	14	13	14	14	14	14	15	16	15	14	15	15	16	15	14	15	15		
3	1961-09	17	16.5	15	15.5	15	15	14	14	16.5	15.5	16	16.5	17	16	15.5	15.5	14	14	14	14.5	14.5	13	14	14	15	16	13	13	14	14		
3	1961-10	13.5	14	14	16	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14		
3	1961-11	13	12.5	10.5	11	11	13.5	14.5	12.5	11	11	13.5	10	9	10	11	12	11	12	11	10	10	10	7	7	8	5	6	5	6	6.5	6	
3	1961-12	8	7.5	7.5	7.5	7.5	8	8	8.5	8.5	10.5	11	12.5	8.5	9	10.5	11.5	10.5	2	5	5	5.5	6	5.5	6.5	7.5	7.5	7.5	6.5	5.5	5.5	6	
3	1962-01	5	5	6.5	7	8.5	6	3	4.5	8.5	9	8.5	9	8.5	9	8.5	8.5	9	8.5	8	8	8.5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
3	1962-02	9	10	8	8	8.5	9	8.5	9	8.5	9	10	9.5	9	9	8.5	8.5	9	8.5	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
3	1962-03	9	7.5	8.5	9	9	9	10	10	10	11	10	8	7.5	8	7	7	8	10.5	11.5	12.5	14	12	11.5	8.5	8	10	11.5	12.5	11	13	12	
3	1962-04	11	11.5	12.5	12.5	11.5	10	10	11	11.5	13.5	12	13.5	11	11.5	11	11	12	13	13	12	12	13	13	13	14	13.5	14	11.5	10.5	11.5	11	
3	1962-05	12.5	15	14	15	16	15	14	14	16	15.5	16.5	17	16.5	15	16	17	19.5	18	17	15	18	17	18	19	19	18	17.5	15.5	17	17.5	17.5	
3	1962-06	17.5	16.5	14.5	14.5	16	18	19.5	18.5	19	19.5	19	18	18	19	18	19.5	19	18	18.5	16.5	16	17	18	19	16	16	16	16.5	16	16		
3	1962-07	14	15	16	15	16.5	16	15	16	16.5	15.5	16	16	16.5	15	16	14.5	14	14.5	14	15	12	12.5	14	14	14	14	14.5	14.5	14.5	15.5	15.5	
3	1962-08	17	17.5	17	15	16.5	15	13.5	14.5	17	11	17	16.5	17	15	16.5	13.5	15.5	17.5	16	17	16.5	15.5	16	15	16	16	15.5	14.5	15.5	15.5	15.5	
3	1962-09	16.5	15.5	16	16	15	16	14.5	15	15.5	14	15	16.5	14.5	14.5	15	16	17.5	16	16	15	15	14	14.5	15	14	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
3	1962-10	14.5	15.5	15	15	13.5	14	14.5	14	14.5	14	14.5	14	13.5	13	12	12.5	14	14.5	14	14	13	14	14	13.5	13	14.5	10	11	12	12.5	8	
3	1962-11	7.5	9	10.5	9	10.5	9	10.5	10	8.5	7	7	8.5	9	6.5	5	3.5	4.5	6.5	6.5	8.5	9	6	6.5	7	9	10.5	12	10.5	8.5	8	9	
3	1962-12	13.5	8	9.5	11	11.5	13.5	10.5	8.5	8	7.5	7.5	8.5	10	9.5	9.5	10	11.5	10	9	8	7	6.5	7	8	5.5	5	7	10	9.5	10	10.5	
3	1963-01	7.5	7.5	8	8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	
3	1963-02	10	9.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10	10.5	10.5	
3	1963-03	10	10.5	9	9.5	8.5	7	8	9.5	9.5	10	9.5	9	11	12	10	10.5	11.5	12	13	14	13.5	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
3	1963-04	14.5	15	15	15.5	14	11.5	11.5	14	13	14.5	15	15.5	17	15	15.5	16	15.5	15.5	15	15.5	16.5	16.5	18	18.5	17.5	16.5	17	16.5	16.5	16.5	16.5	
3	1963-05	18	16	15	15.5	16	14	14.5	16	15.5	15.5	14.5	14	14.5	16	14	15	16.5	15	16.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	
3	1963-06	15.5	16	16.5	16.5	18	19.5	19.5	19	16	15.5	16.5	16	17	18.5	16.5	18	16.5	18	16.5	18	16.5	18	16.5	18	16.5	18	16.5	18	16.5	18	16.5	
3	1963-07	16	16	16	16	16.5	15.5	15	14.5	15	15	16	15.5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	1963-08	14	16	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	
3	1963-09	14	14	15.5	17.5	15.5	14.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
3	1963-10	14	14.5	13.5	13	11.5	11	11.5	9.5	11	11	11.5	12.5	11	9.5	10	10.5	12.5	13.5	14	12.5	11.5	12	12.5	9.5	8.5	9.5	12	10	10.5	8	9.5	
3	1963-11	10.5	11.5	9	12.5	11.5	11	11.5	8.5	7	7.5	8.5	7	7.5	8.5	6	7	8.5	6	7	7.5	8.5	6	7	8.5	6	7	7.5	8.5	6	7	8.5	
3	1963-12	10	10	8.5	7	7.5	10.5	11.5	12	9.5	10	9.5	10.5	10.5	11	11	11.5	7	10.5	11	12	12	9	6.5	1.5	2	3.5	4	6	5.5	5	3	

Tabla 1.5.2 Elemento 3, Temperaturas mínimas

Estos datos se pagan en un nuevo archivo de Excel preparado con una nueva rutina programada con el complemento Visual Basic.

Se tendrán entonces dos bloques de datos; el primero representa la Máxima y el segundo la Mínima. Un tercer bloque arrojará para la temperatura media el promedio de ambos valores (tabla 1.5.3) y para el caso de la oscilación la Oscilación media mensual (tabla 1.5.4).

TEMPERATURA MEDIA																															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
17.5	17.5	15.5	15.5	16	15.5	15.5	15	15.5	16.5	15.5	14.5	13	15.5	12.5	15	17	16	14.5	13.5	11	11	10	14	15	14.5	14	15	16	17		
16	12.5	13.5	16.5	15.5	13.5	12	12.5	15	13	13.5	14	13	13.5	14	14.5	16.5	16.5	18	15	14	13.5	14.5	14.5	14	14	15	20.5				
17.5	16	19.5	18	17	18	18	18.5	17.5	18.5	19	18	18.5	19.5	17.5	18.5	19.5	17.5	18.5	14.5	18	18.5	15	17	20.5	19	18	23	21.5	22.5		
24	24	22.5	23	23.5	24	24.5	25.5	25.5	23	25	23.5	24	25	23.5	24	23.5	23.5	23	24	24	22	21.5	22.5	25	24	23	22.5	23.5	23.5		
26	25	25	25	23.5	24	23.5	23.5	22.5	24	25	23.5	24	23.5	24	23.5	24	23.5	27	28	26.5	27.5	28	25	24	23.5	23.5	23.5	23.5			
25	24	25	24.5	24.5	24	25	26	25.5	26	24	25	27	26	26	24.5	24	25.5	23	23.5	25	24.5	24.5	25	24	23	24.5	23.5	25	25.5		
24.5	24	25	27	26	26	26	25.5	24.5	23.5	24	24.5	25	24	24.5	25	24	25.5	22	18.5	21.75	21.25	23.5	23.25	23	23.75	22	21.5	21.5	22.75	24.5	
24.5	23.75	21	22.25	21.5	22.5	23	22.25	23.25	23	23.25	23.25	21	23.5	21.5	20.5	21.25	20.75	21.5	21.5	21.25	22.75	22.25	22.25	22	21.75	21.5	21.5	21.5			
23.25	23.5	21	20.75	20.25	19.75	20	21	21.5	21.75	20	23	21.25	20	18.75	18.5	19.75	21.5	22	22	22.25	22	21.75	22	22	21.25	23	20.5	19.5	18.75	20	20.75
21	19.75	20.5	20.25	21.5	21.75	19	18	19	18.5	20.5	20.75	18.5	18	19	19.5	19.5	19.75	19.5	18.5	18.25	17.5	17	17	18.5	17	17.75	16.5	17	17.25		

Terminada la rutina de la macro, se pueden apreciar los datos ordenados en bloques. Cada uno de ellos representa un producto mencionado anteriormente dado el caso de Temperatura Media (Tabla 1.5.7) y Oscilación (Tabla 1.5.8).

AÑO	TEMPERATURA MEDIA MÁXIMA												AÑO	DÍA DE LA TEMPERATURA MEDIA MÁXIMA											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	13,75	17	16	18,5	22,25	21,25	19	18,5	18,25	18,5	16,75	14,75	1971	14	22	21	29	23	2	24	2	2	3	21	31
1972	14	16,5	18,5	22	23	21	20,5	19,5	19,5	18,5	19,5	14,5	1972	28	27	21	24	13	15	2	23	7	8	1	10
1973	14,25	14,75	18,25	20,75	22	22,5	20,75	19	18	18,5	18	12,25	1973	26	6	29	24	26	4	24	27	2	8	5	3
1974	14,25	14	19,5	22,75	22	22,5	19,75	19,75	19,25	18,25	17,25	14,75	1974	12	17	6	22	16	6	27	10	7	14	2	30
1975	15	15,25	18,75	21,5	21,5	21,75	21	19,25	19,75	17,25	15,25	16,75	1975	29	1	27	25	11	8	11	6	18	26	30	1
1976	13,5	15	19	19,25	21,5	22,5	19	18,5	19,75	19,75	14,5	14	1976	12	10	13	11	26	12	2	5	12	4	1	16
1977	15,75	15	19,25	20,5	21,25	21,25	20	21,5	21,25	21,5	17,5	16	1977	30	19	21	22	14	18	22	26	10	1	17	1
1978	14,5	16	19	21	22	20,25	20,75	19	18,75	17	16,75	15,75	1978	30	27	25	17	9	6	6	26	14	3	3	2
1979	15,25	15,25	19,5	19,75	21,25	22	21,75	19,75	19,25	18,5	15	14,5	1979	26	6	31	15	31	25	2	4	6	22	22	13
1980													1980												
1981	15		17,5	23,25	21	20,45					20,75	16,5	14	1981	26										
1982		17	20,5	21,75	22,75	24,25	20,5	19,75	20,5	18,5	16,5		1982		24	31	14	17	4	17	22	12	1	23	
1983	12	12,25	15,5	21	22,5	22	18,75	19	19,5	19,25	16	16	1983	10	20	25	21	2	13	29	29	6	4	14	7
1984	14,5	16	18	20,5	21,25	21,5	19	19	18,5	18	16,75	15,75	1984	8	18	25	14	2	7	4	7	2	20	1	23
1985	15,25	15,75	18	19,25	23,75	20	18,5	19,5	18,5	19,5	16,25	14,5	1985	27	27	10	29	14	9	22	25	2	10	15	8
1986	14,5	16,25	17,75	21,25	22,75	20,75	19,5	19,75	19,5	18,5	18,5	16	1986	4	20	31	13	13	6	30	10	5	2	18	7
1987	15,75	15	18,5	19,5	20,5	21,25	21,25	20,5	22,5	17,5	16,5	15,25	1987	7	14	22	10	28	29	8	10	14	14	7	6
1988	14	17,5	18	22	22	22	20	19,5	20	17,75	18,75	15,5	1988	1	27	26	28	10	9	12	9	18	25	8	15
1989	15	15,5	17,75	19,75	22,5	24,75	25,5	20	20,75	19,5	18	17	1989	31	12	14	24	20	7	17	21	9	6	3	2
1990	14,5	15,75	17	21,5	24	22,5	18,5	19,25	19	20	17,5		1990	22	10	13	16	27	1	5		24	5	23	18

Tabla 1.5.7 Temperatura media máxima

AÑO	OSCILACIÓN MÁXIMA DIARIA												AÑO	DÍA DE LA OSCILACIÓN MÁXIMA DIARIA											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	22,5	32	25	25	24	21,5	21	18	17	19,5	22,5	22,5	1971	28	22	13	26	19	10	16	1	8	27	20	23
1972	23	24,5	23	22	21,5	21,5	15,5	17,5	19,5	21	22,5	24,5	1972	9	10	20	3	12	23	1	22	4	18	14	23
1973	25	25	26	25,5	24	23	18	18	19	22	23,5	24	1973	12	3	25	18	26	15	28	1	1	9	3	17
1974	22	24	21	23,5	23	23	19,5	21,5	18	21	23	23	1974	4	10	2	3	15	4	16	14	6	11	26	17
1975	24	26,5	23,5	23,5	23,5	22	17	17	20	25,5	25	23,5	1975	14	25	7	2	5	15	7	1	26	21	15	15
1976	23,5	26	23,5	22,5	21,5	22	16	19	18,5	19	19	18,5	1976	4	25	10	8	13	11	2	14	6	30	13	28
1977	20,5	26	25	21	19	20	20,5	18	21	22	24		1977	3	28	7	21		2	17	26	27	8	30	17
1978	24,5	22	28	25	22,5	16,5	18,5	16	15,5	18	21	20	1978	4	10	10	18	8	10	16	18	18	21	11	22
1979	23	22,5	22	23	23	20	19	18,5	20	22	23,5	19	1979	13	9	12	4	8	16	1	22	28	12	30	26
1980													1980												
1981	26		22	21	19	19	20	22,5	20				1981	26		24		21		24	7		5	25	2
1982		22,5	24	22	19,5	20,5	19,5	19,5	18	20	23		1982		10	8	4	10	2	28	24	27	18	23	
1983	20	21	22	24,5	23,5	21	17,5	18,5	19	19,5	22	21	1983	29	13	17	29	4	10	26	27	6	11	25	22
1984	23	20,5	22	22	22	19,5	16,5	18,5	18,5	20	23	21	1984	21	23	8	7	4	28	24	29	22	5	8	8
1985	21,5	20	22	20	19	19	17	18,5	18,5	19	20,5	22	1985	29	9	18	28	5	2	19	6	1	6	5	1
1986	20,5	23	24,5	22,5	22	21	19	19	19,5	18	24,5	23	1986	3	19	16	8	1	8	27	18	23	23	17	23
1987	23,5	25	25	24,5	21	21	18	19,5	21	23	21	22,5	1987	12	11	31	19	4	20	4	16	10	14	5	3
1988	24	22	21,9	24	22	21,5	18	20	23	23,5			1988	21	3	20	20	2	3	13	12	28	15	9	23
1989	24,5	26	27	25	25	23,5	23	20	19	24,5	26,5	22	1989	14	26	13	22	13	5	15	4	29	14	8	2
1990	24	23	24	29	24	20,5	19	18,5	20	27	28		1990	9	25	8	16	31	5	22		24	14	19	11

Tabla 1.5.8 Oscilación máxima diaria

1.6 Procedimiento para el cálculo de normales climatológicas

La OMM⁴ define las normales climatológicas estándar como “medias de datos climatológicos calculadas para periodos consecutivos de 30 años, a saber: desde el 1 de enero de 1901 hasta el 31 de diciembre de 1930, desde el 1 de enero de 1931 hasta el 31 de diciembre de 1960, etc”.

Existen algunos criterios que se deben considerar para elaborar una normal aceptable de acuerdo a los estándares de la OMM. Se nombran a continuación:

“La OMM recomienda criterios más estrictos, estableciendo los límites a más de 5 días con datos ausentes o a más de 3 consecutivos, respectivamente.

La OMM establece que las normales climatológicas estándar para un mes de calendario sólo se deben calcular si se dispone de valores de por lo menos 25 de los 30 años, con no más de 2 años consecutivos sin datos.

No existen directrices formales para el número máximo de años sin datos en el cálculo de las normales o de las medias del periodo que no sean normales climatológicas estándar.”

4 FUNCIÓN DE LAS NORMALES CLIMATOLÓGICAS EN UN CLIMA CAMBIANTE, WCDMP-Nº. 61 OMM-TD Nº. 1377

De acuerdo al SMN estas normales se deben actualizar cada 10 años por lo que en este estudio se elaboraron las correspondientes al periodo 1 de Enero de 1981 al 31 de Diciembre del 2010, abarcando los 30 años oficiales que dicta la OMM, ya que anteriormente se habían calculado las del 1 de Enero de 1971 al 31 de Diciembre del 2000.

También se crearon las normales correspondientes al periodo 1 de Enero de 1951 al 31 de Diciembre de 1980 dada la disponibilidad de los datos que incluyen este periodo.

Proceso de elaboración.

Para poder calcular los valores normales de 30 años se tiene que disponer primeramente de los datos mensuales analizados de las variables climáticas (temperatura, precipitación, evaporación, etc.) de cada estación meteorológica.

Estos valores se obtienen de los archivos creados en los capítulos previos.

La normal climatológica integra los siguientes datos estadísticos:

- PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURAS MÁXIMAS
- TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTREMAS DIARIAS
- DÍA DEL MES EN QUE SE REGISTRÓ LA TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA
- TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
- OSCILACIÓN MEDIA MENSUAL DE TEMPERATURA
- PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURAS MÍNIMAS
- TEMPERATURAS MÍNIMAS EXTREMAS DIARIAS
- DÍA DEL MES EN QUE SE REGISTRÓ LA TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA
- DIAS CON TEMPERATURAS IGUALES O INFERIORES A 0° C
- PRECIPITACIÓN MENSUAL
- PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA
- DÍA DEL MES EN QUE SE REGISTRÓ LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA
- DÍAS CON PRECIPITACIÓN > 0 mm
- EVAPORACIÓN MENSUAL
- DÍAS CON GRANIZO
- DÍAS CON NIEBLA
- DÍAS CON TORMENTA ELÉCTRICA
- DÍAS DESPEJADOS
- DÍAS MEDIO NUBLADOS
- DÍAS NUBLADOS

Utilizando la hoja de Excel se crea un formato para las normales (Figura 1.6.1). Este nuevo archivo dispone de múltiples hojas preparadas con fórmulas estadísticas. Cada una de ellas almacena una categoría mencionada anteriormente, permitiendo de esta manera el cálculo y organización de los datos.

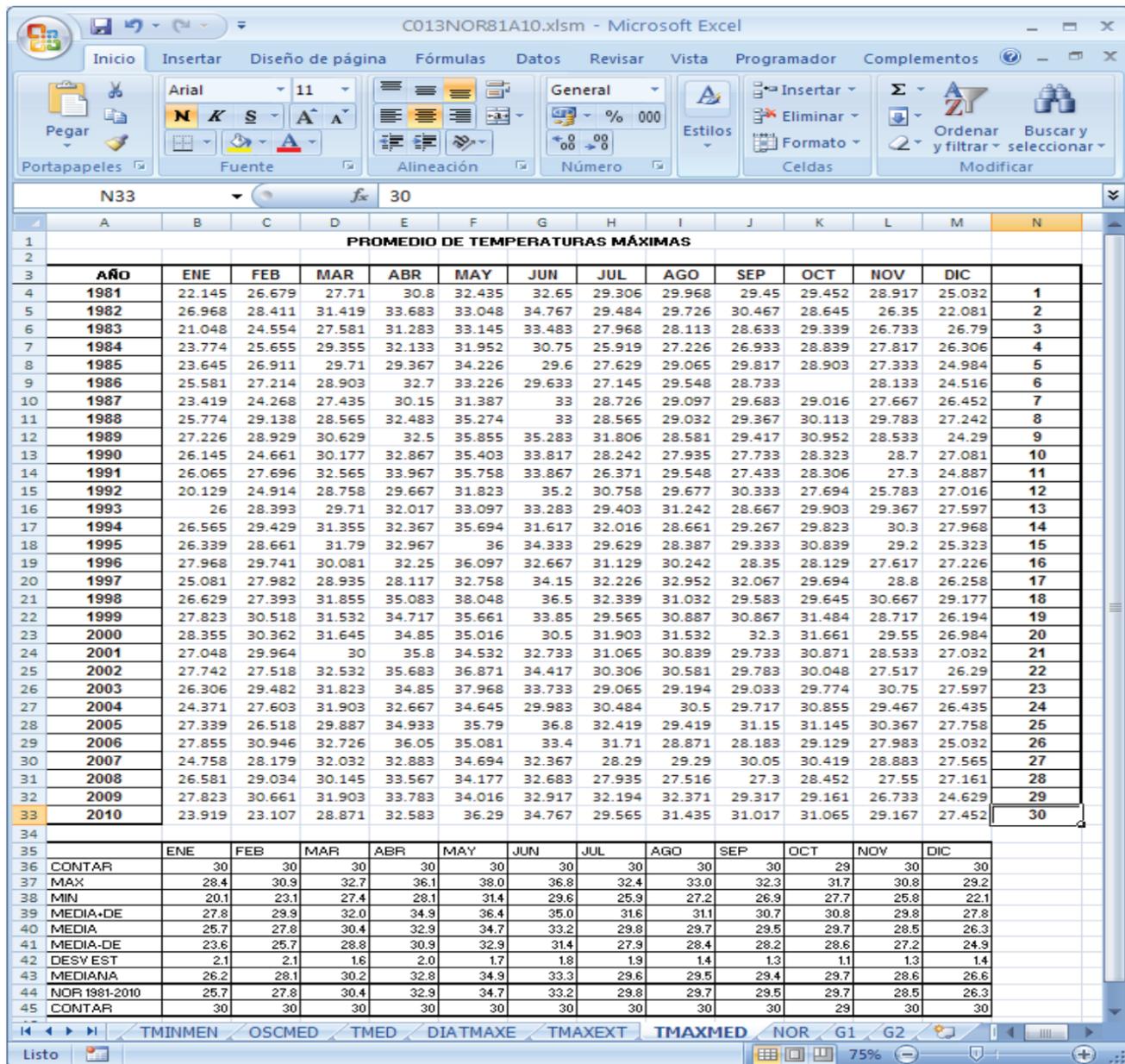


Figura 1.6.1 Muestra de una de las hojas que compone el archivo de la normal

La información generada en cada hoja independiente se vincula a un formato de salida (Figura 1.6.2) que será el que mostrará las medias de los datos climatológicos correspondientes a los 30 años de análisis.

INSTITUTO DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE DE ZACATECAS
FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1981-2010

NÚMERO DE LA ESTACIÓN: 32019 LATITUD: 21° 39' 04.7" N LONGITUD: 103° 20' 23.4" W ELEV: 1,705 msnm
UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN: EXCAME, TEPECHTLAN

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA													
NORMAL	24.4	26.2	28.6	31.1	32.8	31.2	27.6	27.7	27.7	27.8	26.9	25.0	28.1
MÁXIMA MENSUAL	27.0	28.8	31.0	33.5	35.7	34.7	29.6	29.2	29.7	29.1	28.8	26.6	
AÑO DE MÁXIMA	1982	2009	1991	2006	1998	1982	1994	1997	2000	1989	1988	1994	
MÁXIMA EXTREMA DIARIA	30.0	33.5	35.5	37.5	38.0	39.0	36.0	32.5	33.0	33.0	32.0	30.5	
AÑO	1982	2009	1982	1983	1982	1982	1987	2005	1981	1982	1986	1984	
DÍA	25	28	31	30	31	3	2	7	26	1	17	23	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
TEMPERATURA MEDIA Y OSCILACIÓN DE TEMPERATURA													
NORMAL	13.5	15.0	16.8	19.5	22.2	23.1	21.1	20.8	20.4	18.5	15.6	13.9	18.4
OSCILACIÓN MEDIA MENSUAL	21.8	22.4	23.5	23.0	21.3	16.3	13.1	13.8	14.5	18.5	22.5	22.1	19.4
OSCILACIÓN MÁXIMA MENSUAL	26.7	26.4	27.1	26.1	24.9	21.0	15.5	15.9	17.0	22.8	25.9	27.6	
AÑO DE MÁXIMA	1996	1998	1991	1998	1998	2005	1994	1997	2000	2010	2010	2010	
OSCILACIÓN MÍNIMA MENSUAL	13.1	17.4	19.8	17.5	18.6	12.5	10.3	11.8	12.2	14.9	19.9	16.0	
AÑO DE MÍNIMA	1992	1990	1997	1981	1982	2004	1991	1990	2003	1998	2002	1982	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
TEMPERATURA MÍNIMA													
NORMAL	2.5	3.8	5.1	8.0	11.6	15.0	14.6	13.9	13.1	9.3	4.4	2.8	8.7
MÍNIMA MENSUAL	-0.4	-1.0	2.9	5.8	9.0	12.9	13.0	12.8	11.8	5.6	0.8	-2.0	
AÑO DE MÍNIMA	1999	1998	1986	2009	2005	2005	2000	2000	1989	2010	2010	2010	
MÍNIMA EXTREMA DIARIA	-9	-6.5	-5	-1	2	6	10	9	4.5	-1.5	-5	-11	
AÑO	1988	1998	2008	1983	1987	1988	1999	2000	1989	2007	1981	1997	
DÍA	21	3	8	9	3	1	15	18	28	24	15	14	
DÍAS CON TEMPERATURAS <= 0° C	9.0	4.4	2.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	3.5	7.1	26.6	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
PRECIPITACIÓN													
NORMAL	19.0	11.2	4.6	3.1	23.0	131.4	219.1	171.6	106.1	40.0	9.8	9.0	747.7
MÁXIMA MENSUAL	203.1	85.6	45.5	39.1	101.9	299.4	413.3	323.2	245.5	111	44.9	56.5	
AÑO DE MÁXIMA	1992	2010	1997	1997	2004	1984	1991	1990	2003	1992	1982	1982	
MÁXIMA DIARIA	41.1	53.3	19.8	15.4	37.2	101	71	73.9	76.2	53.1	35.6	20.4	
AÑO	1992	2010	2001	1997	2000	1988	1989	2004	1996	2009	1989	1982	
DÍA	9	2	2	13	30	25	9	29	3	8	17	13	
NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA	3.1	1.8	1.1	1.2	4.3	13.7	19.8	18.8	13.8	6.0	1.9	2.0	87.4
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	28	29	29	28	30	30	
EVAPORACIÓN TOTAL													
NORMAL	102.3	131.6	198.5	221.8	237.5	186.9	142.9	132.5	112.4	110.2	98.4	91.1	1766.1
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
FENÓMENOS CLIMATOLÓGICOS DIVERSOS													
NIEBLA	0.8	0.4	0.0	0.1	0.1	1.2	3.6	5.9	4.2	3.4	0.7	0.7	21.0
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	1.1
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
TORRENTA ELÉCTRICA	0.3	0.1	0.2	0.3	1.0	2.9	4.0	4.1	2.3	0.7	0.3	0.1	16.1
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	
NÚMERO DE DÍAS DESPEJADOS	13.6	12.2	15.9	11.8	11.2	3.2	0.6	0.4	0.8	6.4	13.3	13.1	102.6
NÚMERO DE DÍAS MEDIO NUBLADOS	10.8	12.2	11.7	14.0	15.4	16.4	15.8	18.2	17.5	17.1	13.3	10.9	173.3
NÚMERO DE DÍAS NUBLADOS	6.6	3.8	3.4	4.2	4.4	10.4	14.6	12.3	11.7	7.4	3.4	7.1	89.3
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	

Figura 1.6.2 Formato de salida de las normales climatológicas

También dentro de este mismo archivo se generan dos gráficas. La primera integra temperaturas mensuales (temperatura media, promedio de máximas y mínimas, extremas máximas y mínimas) (Figura 1.6.3). La segunda muestra la relación de los valores mensuales de temperatura media y precipitación mensual (Figura 1.6.4). Ambas gráficas muestran el periodo comprendido por las normales, el cual es definido en cada archivo, pudiendo ser; con información completa de 30 años, pero no menor a 25.

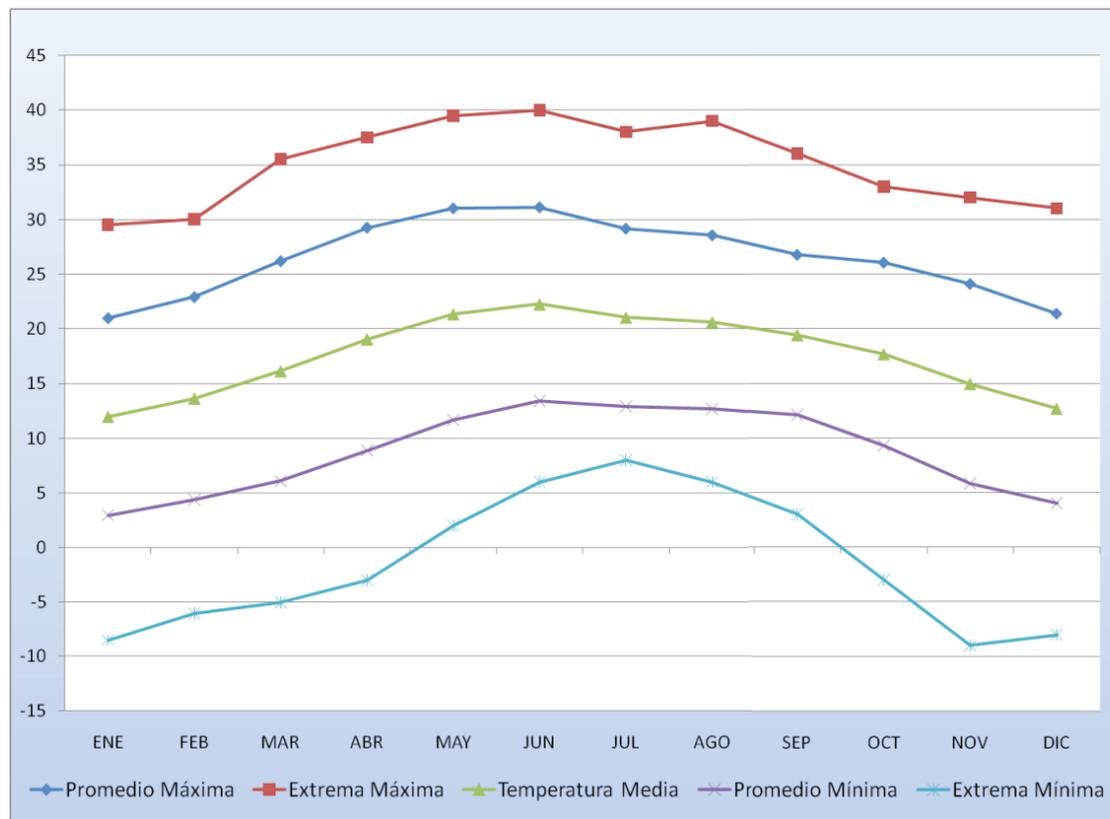


Figura 1.6.3 Gráfica de temperaturas mensuales

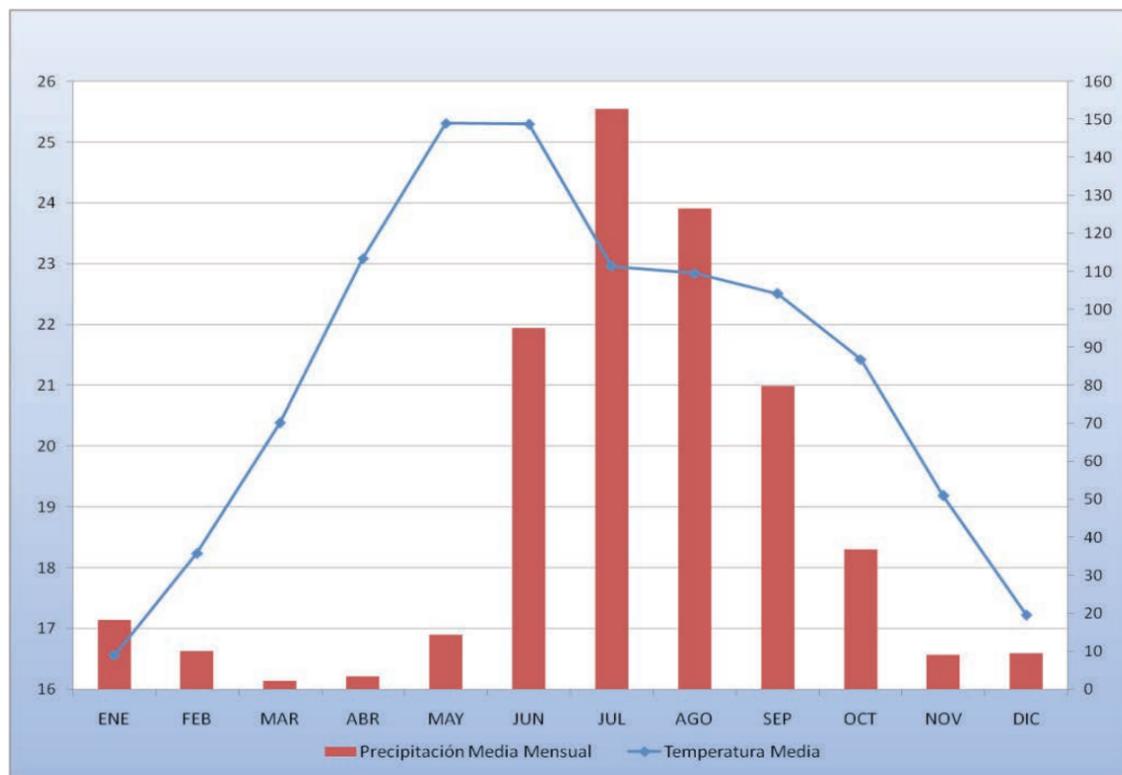


Figura 1.6.4 Temperatura media y precipitación mensual

En la figura 1.6.5 se puede notar que aparecen algunos valores que indican una posible anomalía estadística fuera de los estándares, representados por los vértices ascendentes o descendentes en las líneas de extremas máximas y mínimas.

Dichos vértices ayudan a identificar y corregir los errores que presentan algunos datos en la información procesada. La corrección se hace desde la fuente misma de los datos comparando los datos diarios e históricos de manera manual.

Aquí se aconseja como siguiente paso, hacer un análisis estadístico por estación y por variable, para complementar el estudio.

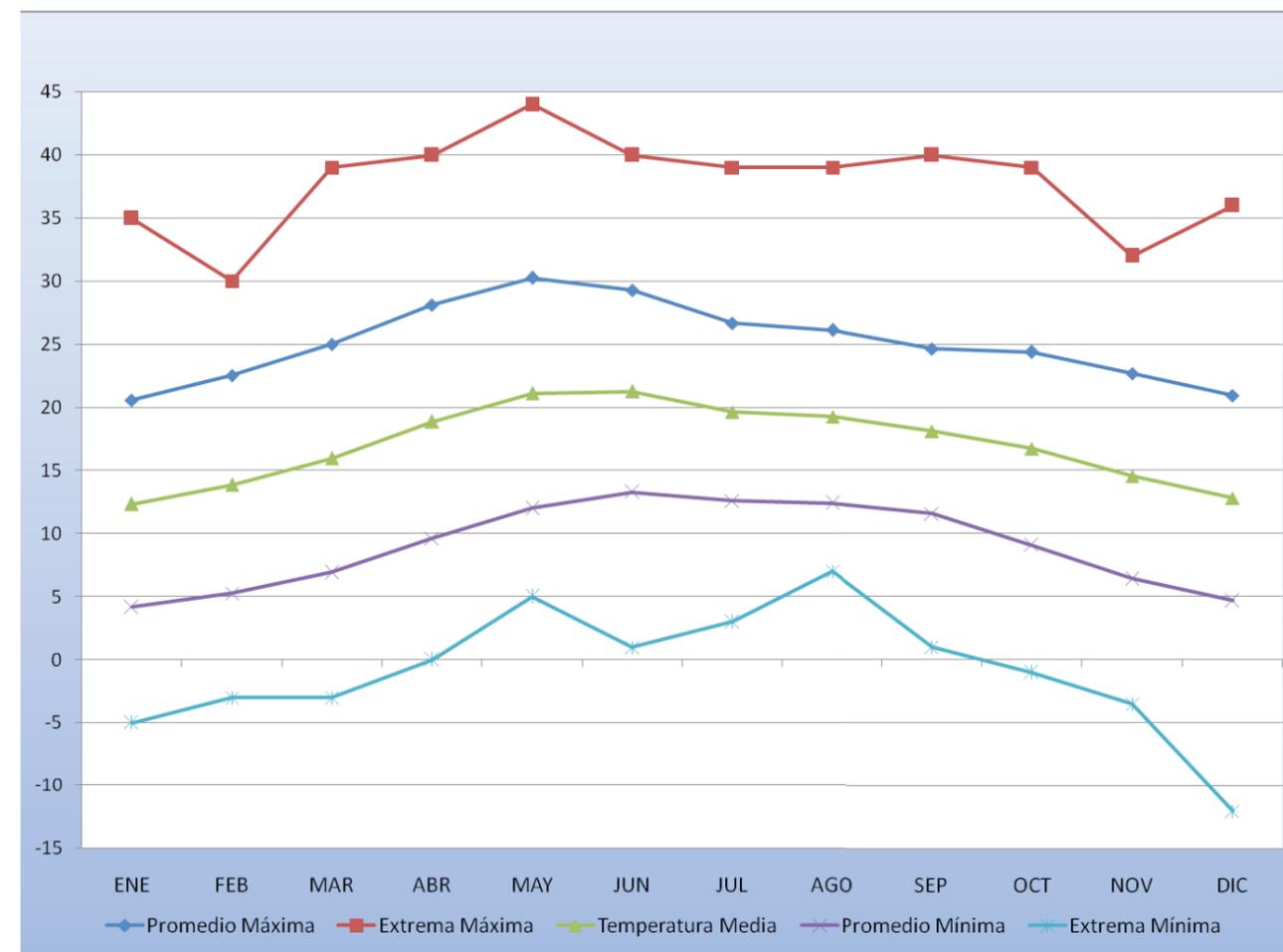


Figura 1.6.5 Gráfica de temperaturas mensuales con anomalías

Capítulo II

Observatorios meteorológicos
sinópticos en Zacatecas



En el estado hay dos observatorios meteorológicos de escala sinóptica, el de Sombrerete y el de La Bufa en la ciudad de Zacatecas. Operan de manera diferente de las estaciones climatológicas, ya que mientras que en un observatorio se hacen registros horarios de la temperatura, precipitación y demás variables, si es que el observatorio cuenta con instrumentos registradores; las estaciones climatológicas solamente hacen una lectura diaria, ya que únicamente cuentan con un termómetro de máxima y mínima; por la mañana se hacen las mediciones. En el caso de la temperatura, ésta se hace haciendo las lecturas de temperaturas extremas y debido a ello, la temperatura media se calcula promediando estas temperaturas. En el caso de la precipitación se hace una sola lectura que indica la precipitación de las 24 horas anteriores, mientras que en un observatorio, se cuenta con un pluviógrafo, el cual registra las lecturas de manera continua durante todo el día. La exactitud de las observaciones de un observatorio dependerá de varios factores, entre los más importantes están:

- Personal capacitado adecuadamente.
- Instrumental completo, en buen estado y calibrado correctamente.
- Plantilla de personal completo, que cubra las 24 horas, los 365 días del año.

Desafortunadamente, los observatorios en la entidad no han cumplido con los requisitos arriba mencionados a lo largo de su tiempo de operación, por lo que se debe de tener en cuenta esta indicación.

Se analizan todas las variables disponibles que mide el observatorio, para tratar de comprender mejor como está variando el clima, ya que las variables meteorológicas no son independientes, cualquier variación de una se verá reflejo en otra y se comprenderá mejor la variación del clima a lo largo de su historial.

1.1 Observatorio de Sombrerete.

Este observatorio pertenece a CONAGUA y se ubica en el cerro la Urbaneja, en la cabecera municipal de Sombrerete. Cuenta también con una estación automática, aunque son pocos los años de registro con que cuenta.

Su historial completo cubre casi los 30 años de información. Algunas variables tienen 31 años, mientras que otras tienen no la completan, como es el caso de la evaporación.

En este observatorio se miden, registran y calculan las siguientes variables meteorológicas:

Temperatura de punto de rocío, temperaturas máxima, media y mínima; temperatura mínima a la intemperie, temperatura de bulbo húmedo, tensión máxima de saturación del vapor de agua, humedad relativa, nubosidad, insolación, tensión del vapor de agua, evaporación, presión de la estación, presión reducida al nivel medio del mar, estado del cielo, visibilidad, fenómenos diversos (Fotometeoros, Litometeoros, Hidrometeoros Electrometeoros), radiación solar, dirección y velocidad del viento y precipitación.

Esta información se procesó de la siguiente manera:

La información fue capturada en Excel, como se muestra en la tabla 2.1 con el formato diseñado para realizar gráficas adecuadas para generar tendencias, de ahí se separó cada variable a estudiar y se realizaron tendencias para cada mes del año para cada variable. Aquí únicamente se muestra la tendencia anual, sin embargo las tendencias mensuales se pueden consultar en los anexos digitales.

Para no hacer este documento muy extenso, únicamente se muestran las gráficas anuales; sin embargo debe de tenerse en mente, de que la tendencia anual es el resultado del promedio de todos los meses del año y a lo largo del mismo hay meses en que tienen una tendencia mayor o menor. Por tal motivo, en el anexo digital se presentan todos los meses del año con sus tendencias correspondientes; empero, se utilizaron todas las tendencias para la elaboración del capítulo sobre el cambio climático en Zacatecas, ya que hay meses donde se observan cambios sumamente importantes.

A continuación se describirá cada gráfica y las observaciones más sobresalientes.



AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	11.3	13.0	16.6	17.3	21.0	23.1	20.3	18.6	18.7	15.4	13.2	12.3
1981	10.1	13.6	17.1	18.8	20.5	23.3	18.5	18.9	17.1	15.7	15.1	12.1
1982	13.5	14.6	11.9	20.9	20.6	23.4	18.6	19.0	18.6	17.4	14.2	10.8
1983	10.1	11.2	14.1	17.8	20.8	21.8	18.6	17.8	17.7	17.4	14.7	12.9
1984	10.9	12.0	15.8	18.6	19.3	18.3	21.5	17.6	16.2	16.9	15.0	17.0
1985	9.9	12.5	16.4	16.5	22.1	19.7	17.7	18.3	18.3	16.9	15.4	12.0
1986	11.6	13.7	15.1	20.0	20.9	18.2	18.0	18.7	17.4	16.8	14.9	8.9
1987	9.5	11.5	15.6	16.4	16.9	20.1	18.5	19.0	18.3	17.2	14.3	13.2
1988	11.6	14.6	15.4	18.5	21.9	20.1	17.8	17.9	18.1	17.2	16.5	13.3
1989	13.7	15.1	16.5	12.0	21.8	22.1	20.0	18.1	17.5	16.7	14.8	10.5
1990	12.5	11.8	16.4	19.5	22.3	21.8	17.8	19.3	17.6	16.2	15.3	13.3
1991	12.7	13.1	18.4	19.4	22.7	21.7	16.5	18.4	16.0	15.7	13.6	10.9
1992	8.8	10.6	14.7	16.4	18.5	22.9	19.3	18.6	17.6	15.5	15.1	15.6
1993	12.3	13.4	15.2	18.2	19.7	20.7	18.7	19.1	17.1	15.7	15.4	14.1
1994	12.4	12.0	16.2	17.8	22.3	19.9	19.5	15.3	18.0	17.5	16.0	13.3
1995	12.9	13.6	17.1	19.0	22.8	22.1	19.4	17.9	18.3	17.7	15.7	12.1
1996	13.2	14.6	15.3	17.9	22.9	20.3	20.1	18.1	17.5	15.4	13.9	12.6
1997	9.6	11.4	15.4	13.9	17.3	19.3	18.3	18.8	18.2	15.3	14.6	9.4
1998	11.5	11.5	15.4	19.2	22.2	22.2	20.3	18.0	17.4	17.0	15.6	13.4
1999	12.1	15.1	16.1	19.2	20.1	19.4	17.1	18.7	17.9	16.1	12.6	10.4
2000	12.6	14.2	15.9	18.8	19.6	17.9	18.5	16.9	17.8	15.8	13.4	11.7
2001	11.5	13.5	13.9	19.2	18.7	19.0	18.5	18.1	17.0	15.7	13.0	11.8
2002	11.8	12.1	15.8	19.5	20.9	20.0	17.5	17.8	16.8	16.4	12.7	10.9
2003	11.7	12.7	14.8	18.1	21.8	19.4	16.7	17.1	16.4	14.9	14.5	10.8
2004	10.8	11.9	15.0	16.2	19.0	18.2	17.4	16.2	15.9	16.1	12.9	10.9
2005	11.8	11.6	13.0	18.3	19.7	22.1	18.6	16.8	17.4	16.5	13.5	11.8
2006	11.4	13.9	15.9	20.0	19.9	19.3	18.2	17.2	16.5	15.2	12.8	9.7
2007	10.7	12.4	15.9	17.0	19.8	18.7	17.1	17.8	17.3	15.3	13.9	12.9
2008	11.4	13.7	14.5	19.0	19.4	20.4	17.5	17.1	16.0	14.9	13.1	12.7
2009	12.9	15.0	16.6	18.4	19.7	19.8	19.5	18.9	16.9	16.4	12.5	10.9
2010	9.3	9.8	13.4	17.4	21.2	21.2	18.1	19.5	17.5	15.9	13.4	12.2
SUMA	356.1	399.7	479.4	559.2	636.3	636.4	574.1	559.5	539.0	502.8	441.6	374.4
CONTAR	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
MEDIA	11.5	12.9	15.5	18.0	20.5	20.5	18.5	18.0	17.4	16.2	14.2	12.1
D. EST.	1.3	1.4	1.3	1.8	1.6	1.6	1.2	0.9	0.8	0.8	1.1	1.7
MEDIANA	11.6	13.0	15.6	18.4	20.6	20.1	18.5	18.1	17.5	16.1	14.3	12.1
MAX	13.7	15.1	18.4	20.9	22.9	23.4	21.5	19.5	18.7	17.7	16.5	17.0
MIN	8.8	9.8	11.9	12.0	16.9	17.9	16.5	15.3	15.9	14.9	12.5	8.9

Tabla 2.1.1 Formato de la hoja de Excel

A continuación se presentan las temperaturas:

En la gráfica 2.1.1 se observa la variación que ha tenido la temperatura mes por mes a lo largo de 30 años de historia climatológica. De esta gráfica se puede establecer que la probabilidad de que las temperaturas se ubiquen dentro de las líneas superior e inferior es muy alta.

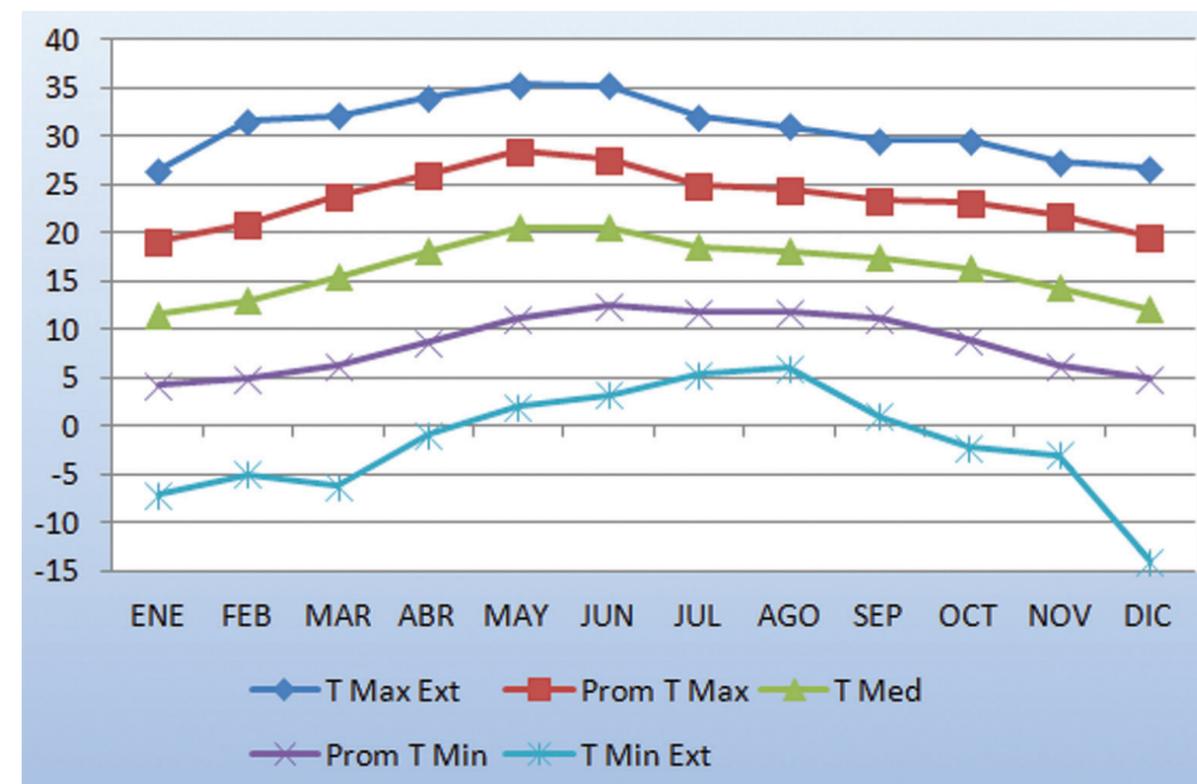


Figura 2.1.1 Temperaturas extremas, promedios y media en °C

La gráfica 2.1.2 muestra la tendencia de las temperaturas máximas. Se puede observar que en los últimos 30 años ha habido un incremento en las temperaturas máximas de casi 2 grados.

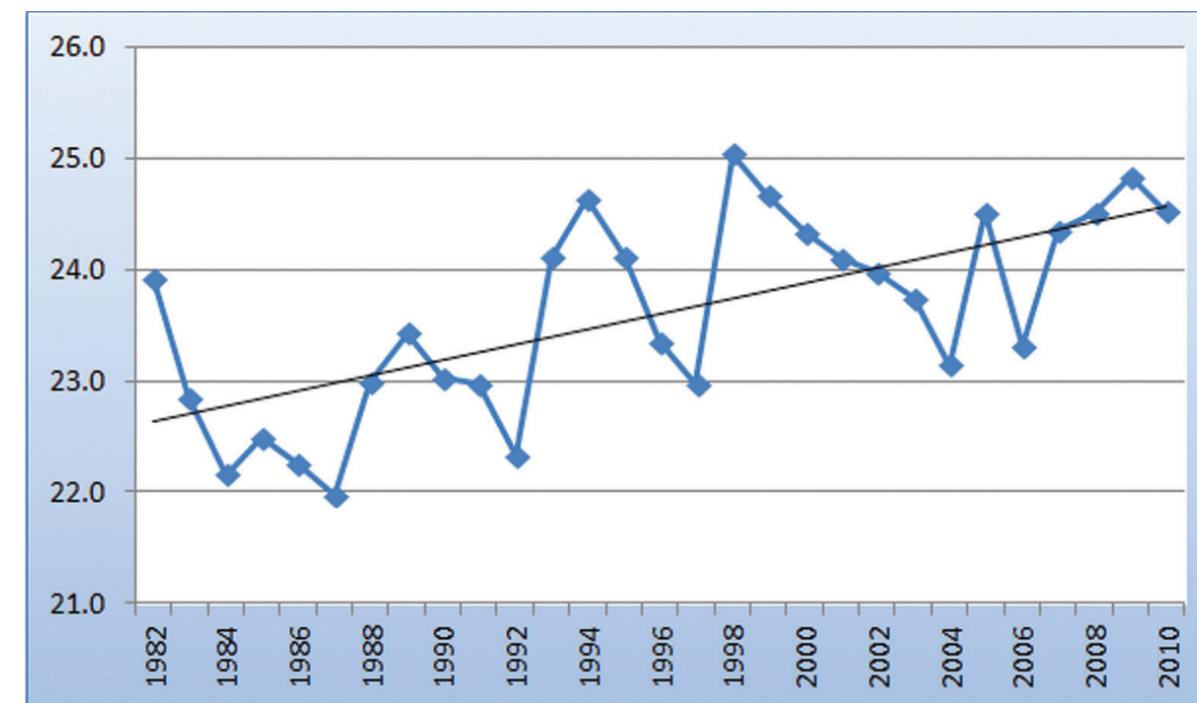


Figura 2.1.2 Promedio de temperaturas máximas en °C

La figura 2.1.3 muestra que la temperatura media anual ha presentado un decremento.

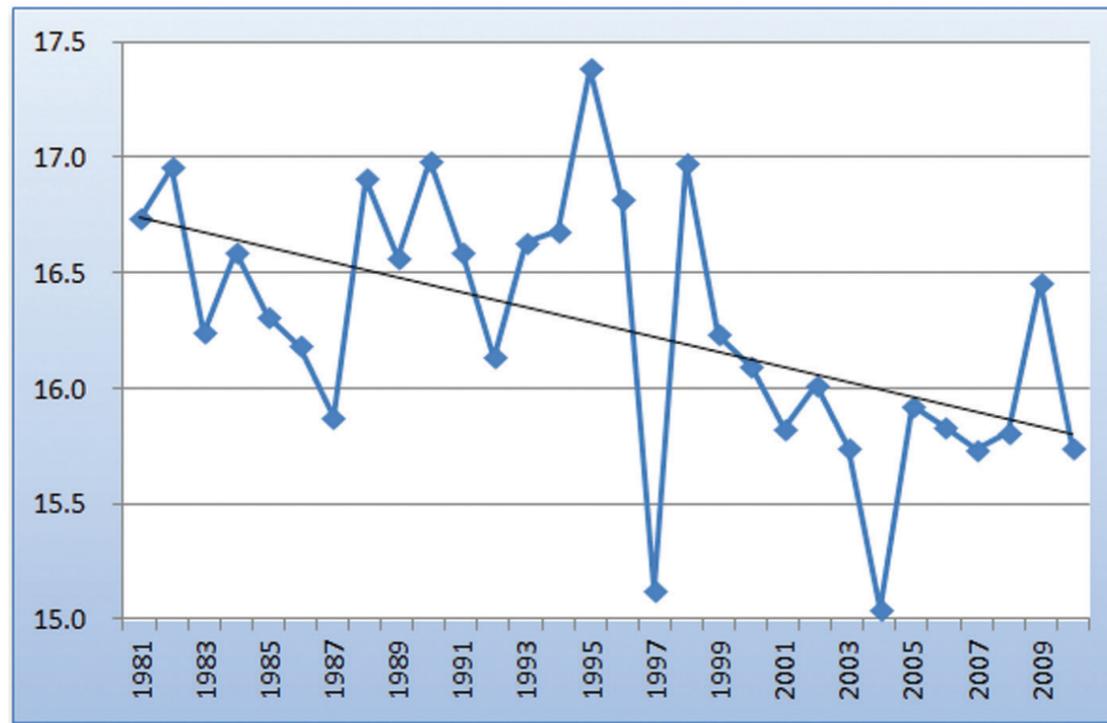


Figura 2.1.3 Temperatura media anual en °C

La figura 2.1.5 muestra que el número de heladas por año se ha incrementa en los últimos 30 años en la región de Sombrerete cercana al observatorio. Esta gráfica confirmaría que las temperaturas mínimas sí han disminuido en el observatorio.

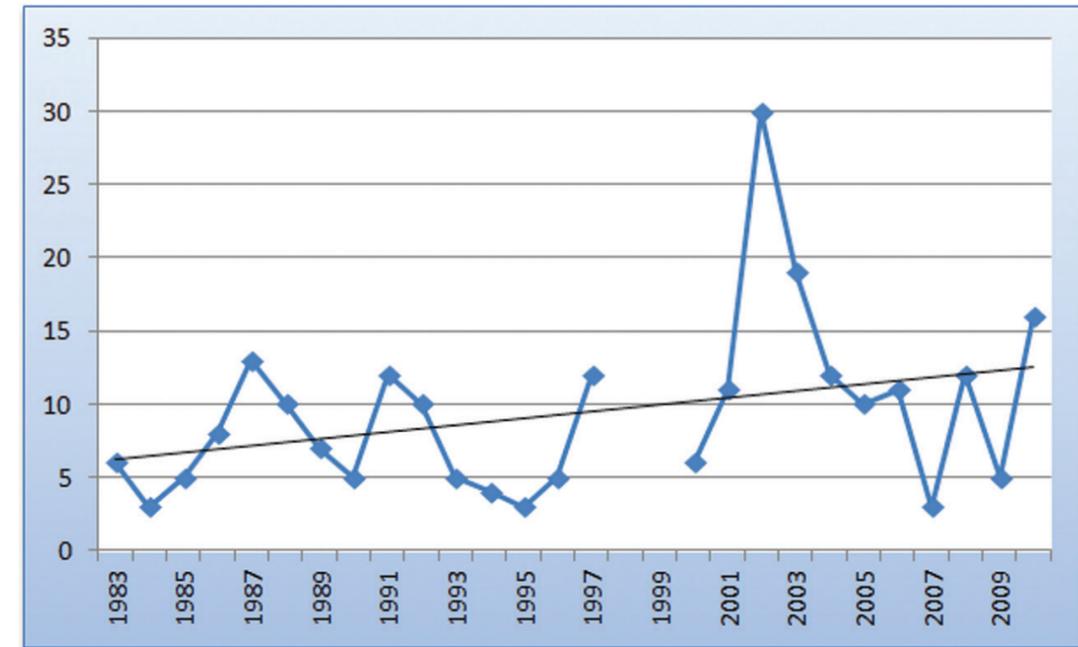


Figura 2.1.5 Número de días con heladas por año

La gráfica 2.1.4 muestra la posible explicación del porqué las temperaturas medias muestran una tendencia negativa, y es que aquí también se observa una tendencia negativa, así que aunque las temperaturas máximas asciendan, las temperaturas mínimas descienden más, lo que genera una disminución en las temperaturas medias.

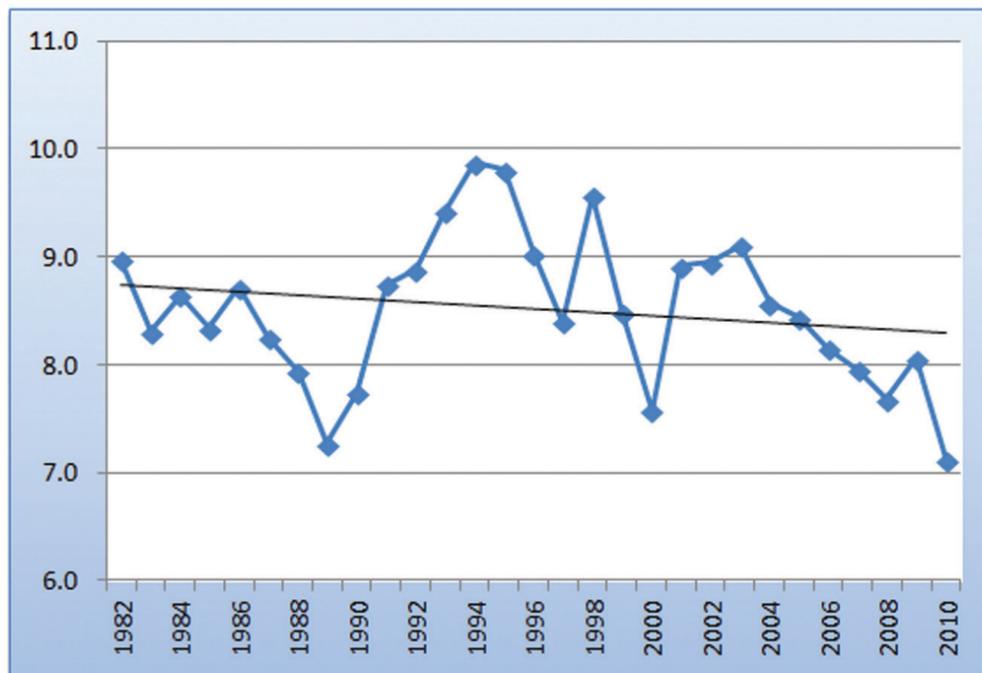


Figura 2.1.4 Promedio de temperaturas mínimas en °C

En la gráfica 2.1.6 se pueden apreciar los dos elementos principales del clima, que son la temperatura y la precipitación. Aquí se observa que Sombrerete tiene un clima templado con lluvias durante el verano.

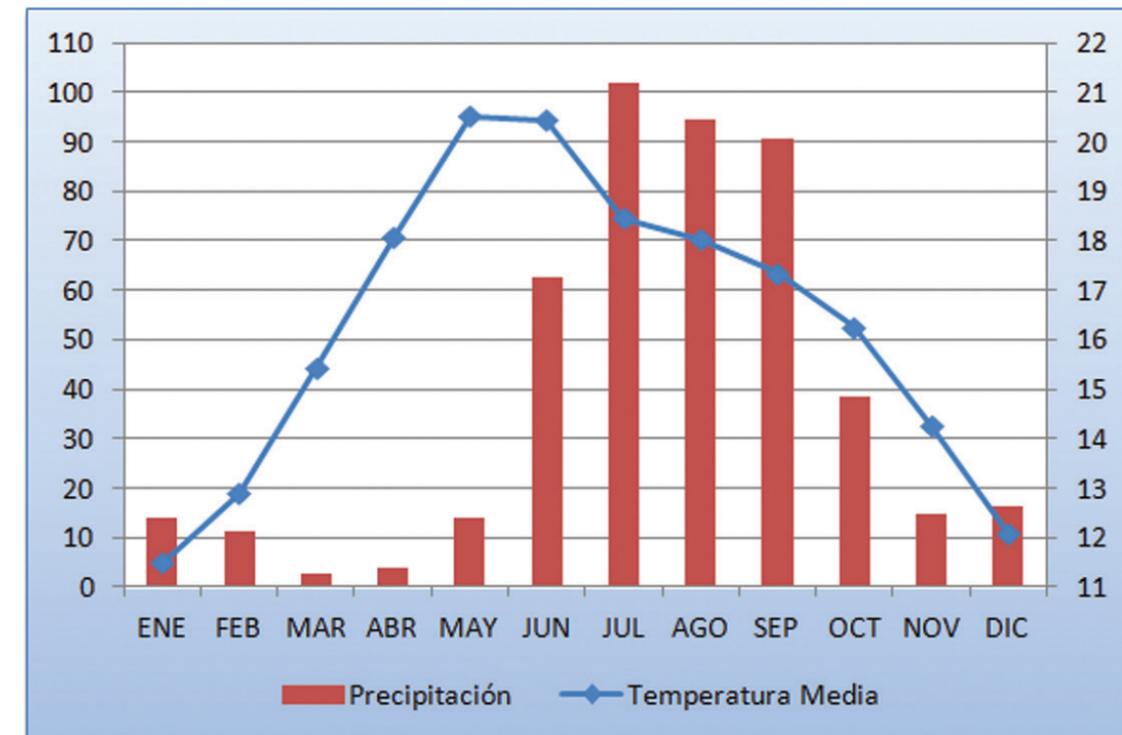


Figura 2.1.6 Temperatura en °C y precipitación en mm

En la gráfica 2.1.7 se observa que las precipitaciones se ha intensificado en el periodo de estas normales, ¿por qué? Posiblemente las gráficas de la humedad y de la tensión del vapor de agua nos ayuden con la respuesta.

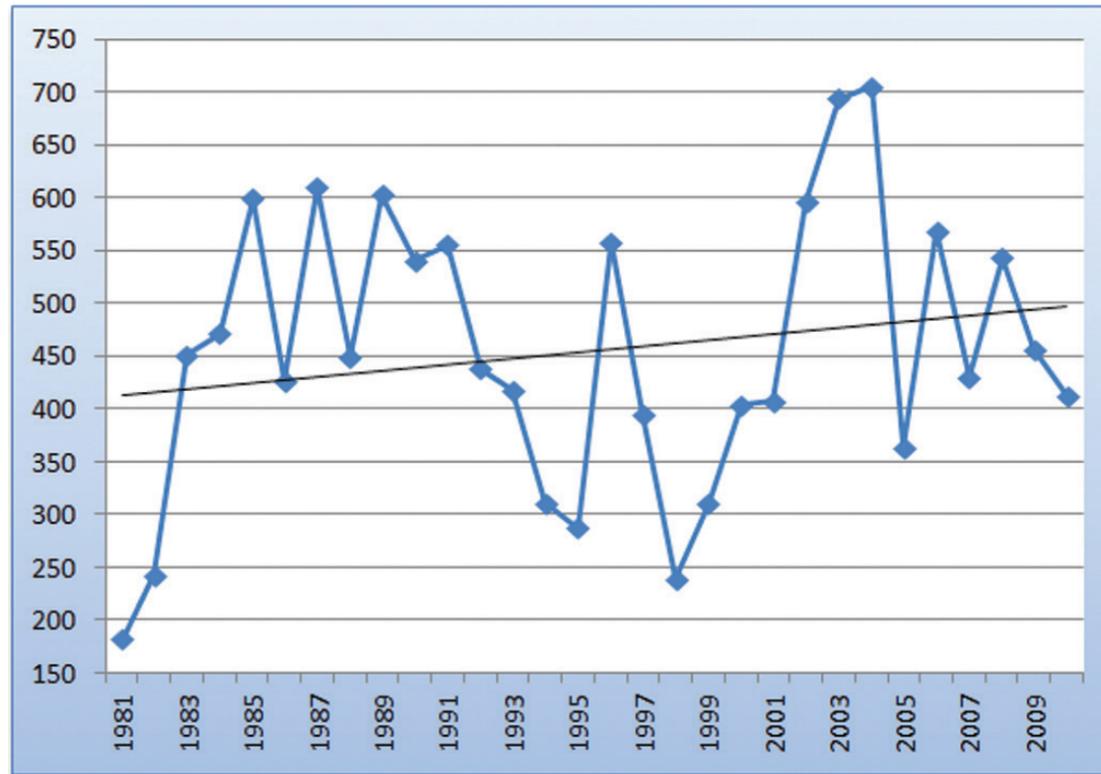


Figura 2.1.7 Precipitación media anual en mm

Podemos observar que la gráfica 2.1.8 muestra un incremento en las precipitaciones máximas en 24 horas, con un valor de alrededor de 8 mm en 30 años.

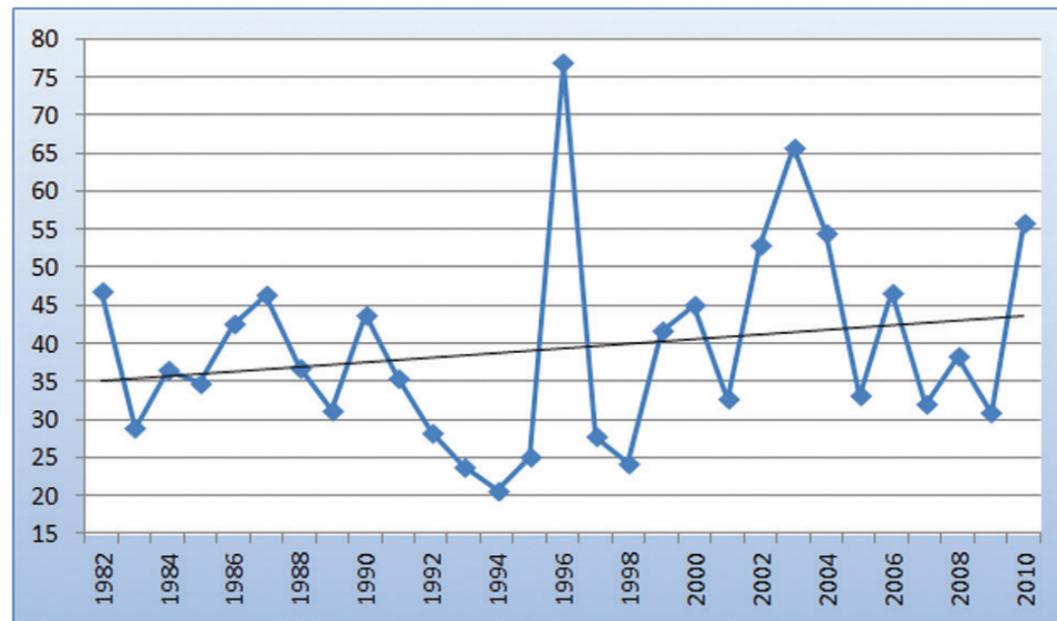


Figura 2.1.8 Precipitación máxima en 24 horas en mm

La figura 2.1.9 muestra que el número de días con precipitaciones mayores a 1 mm, prácticamente se ha mantenido constante a lo largo de 30 años de historia climatológica.

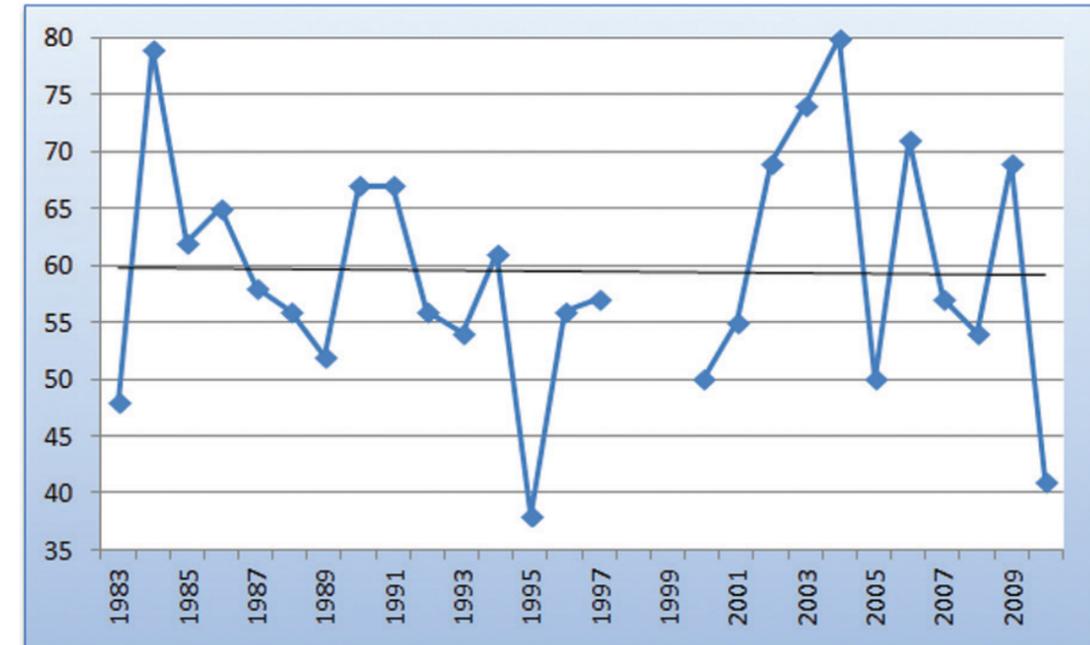


Figura 2.1.9 Número de Días con Precipitación > de 1.0 mm

La gráfica 2.1.10 permite observar el número de días con precipitaciones mayores a 0.1 mm, se ha incrementado ligeramente durante los últimos 30 años.

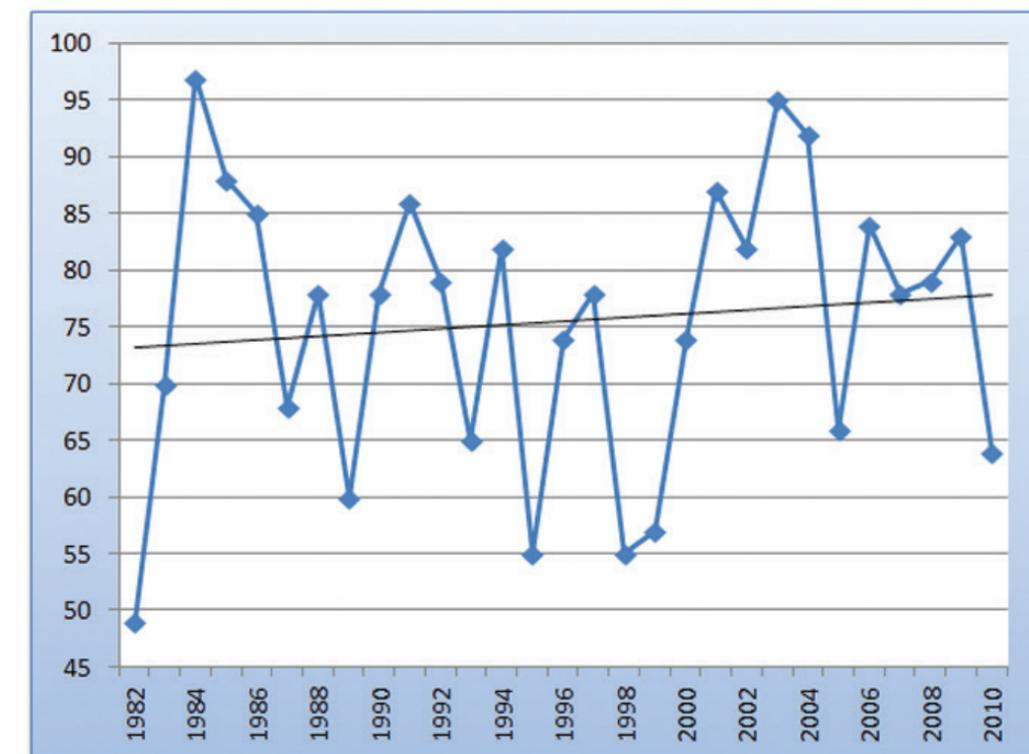


Figura 2.1.10 Número de Días con Lluvia > 0.1 mm

La evaporación se ha mantenido prácticamente constante durante el periodo de estudio, como se aprecia en la figura 2.1.11

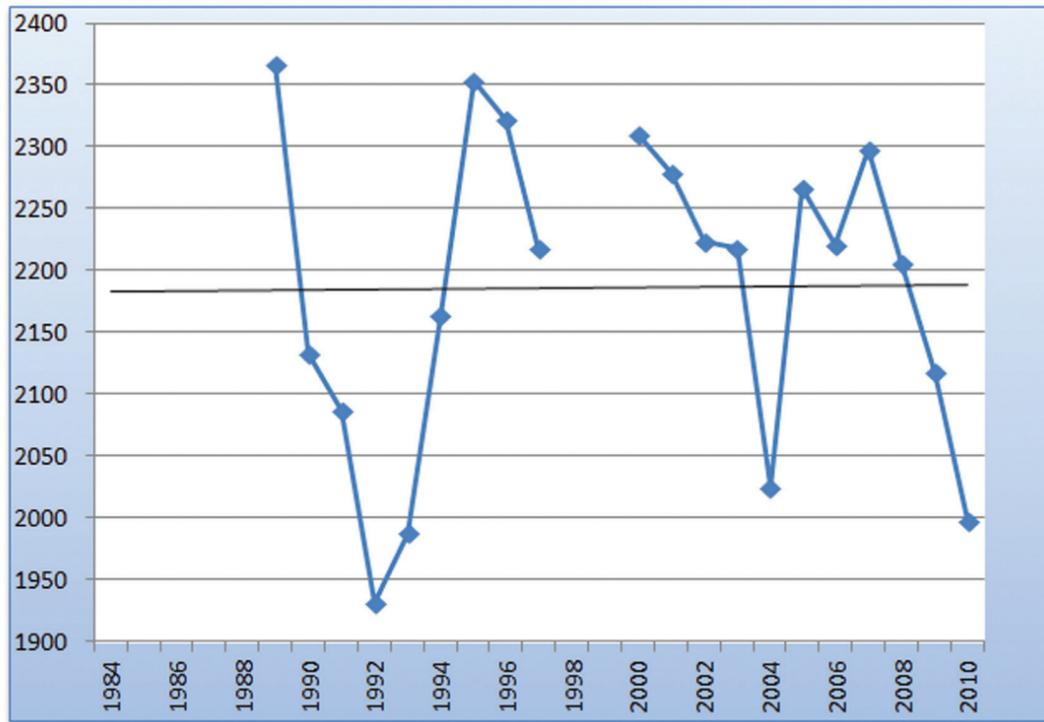


Figura 2.1.11 Evaporación mensual en mm

Por su parte, en la figura 2.1.13 se observa que la tensión del vapor de agua se ha incrementado ligeramente, ¿por qué? La cantidad de vapor de agua que llega a Sombrerete proviene de los litorales, entonces aquí es necesario estudiar más a fondo y mes por mes el comportamiento de esta variable, para tratar de identificar las causas del incremento de vapor de agua en el observatorio.

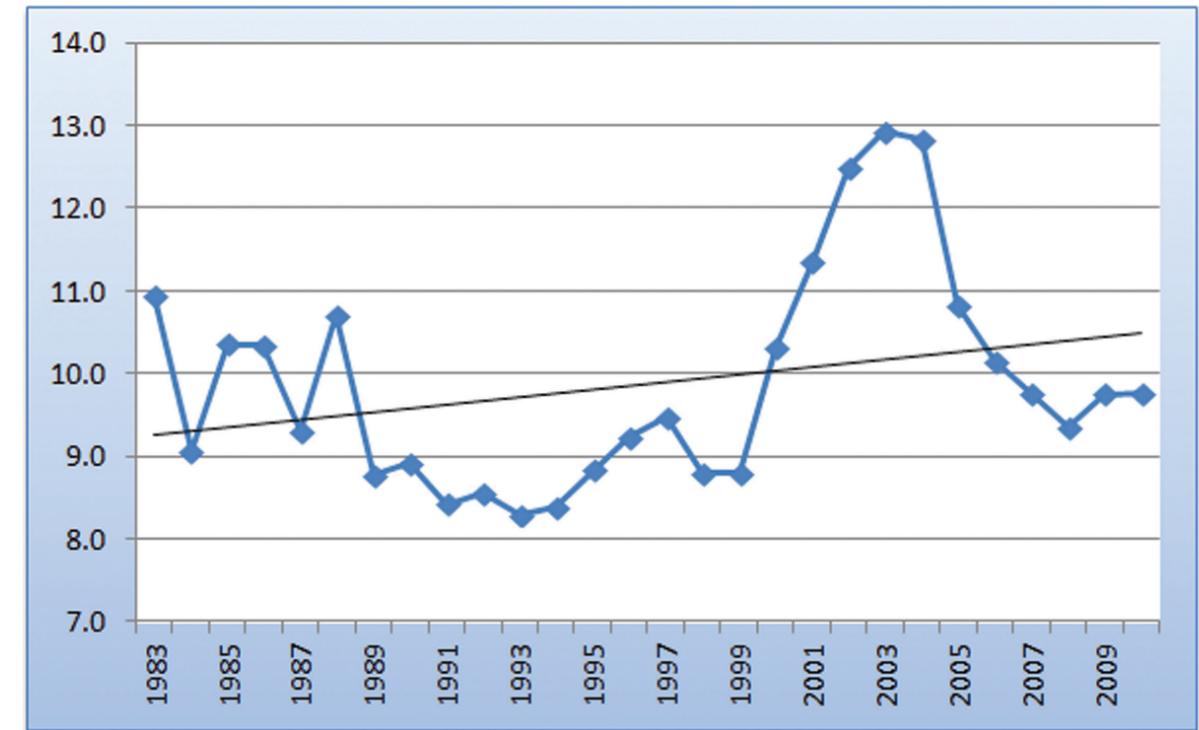


Figura 2.1.13 Tensión del vapor de agua en hPa

La humedad relativa se ha incrementado en casi 4 % en este periodo, lo cual se observa en la gráfica 2.1.12.

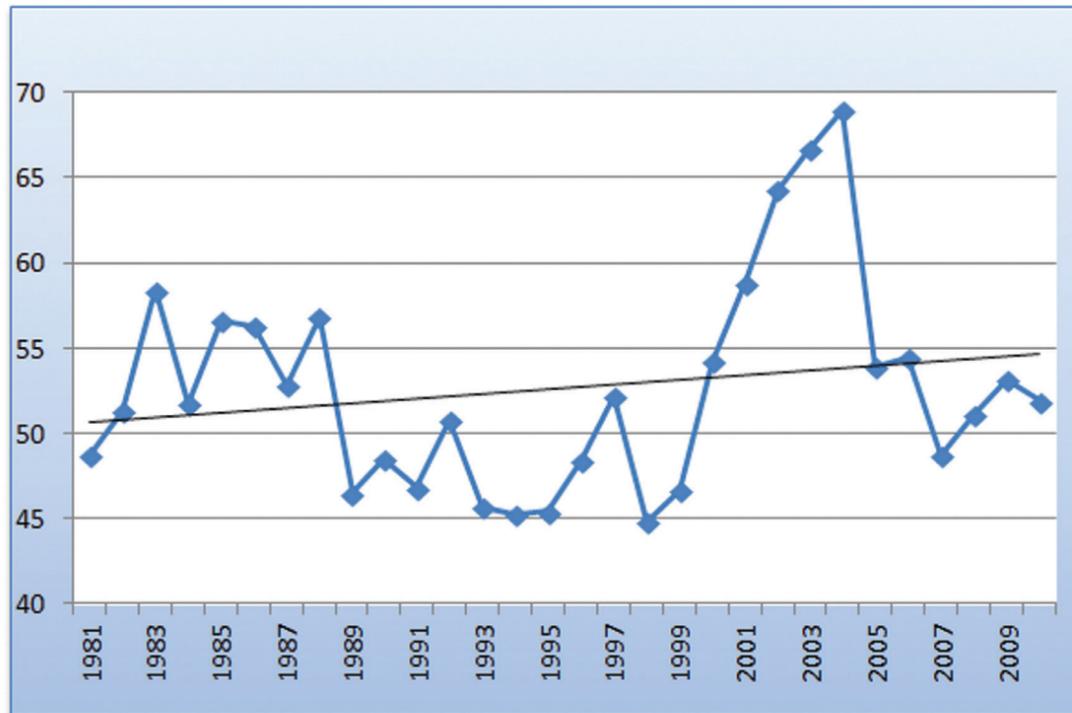


Figura 2.1.12 Humedad relativa en %

La presión de la estación se ha incrementado significativamente a partir de año de 1988. Lo se muestra en la figura 2.14.

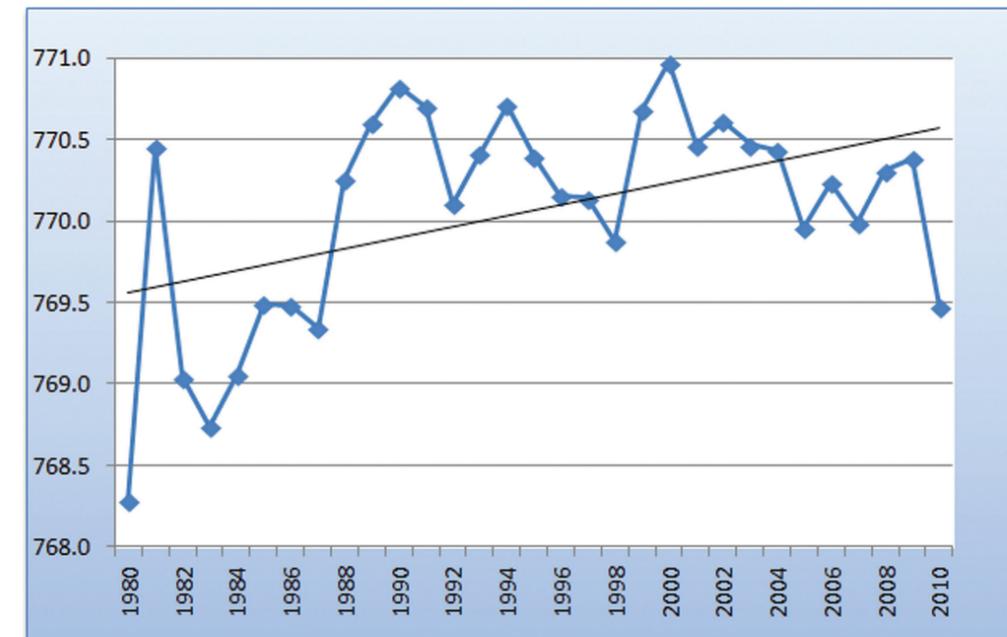


Figura 2.1.14 Presión de la estación en hPa

La presión reducida al nivel medio del mar igualmente se ha incrementado en el observatorio de Sombrerete, lo cual se aprecia en la imagen 2.1.15.

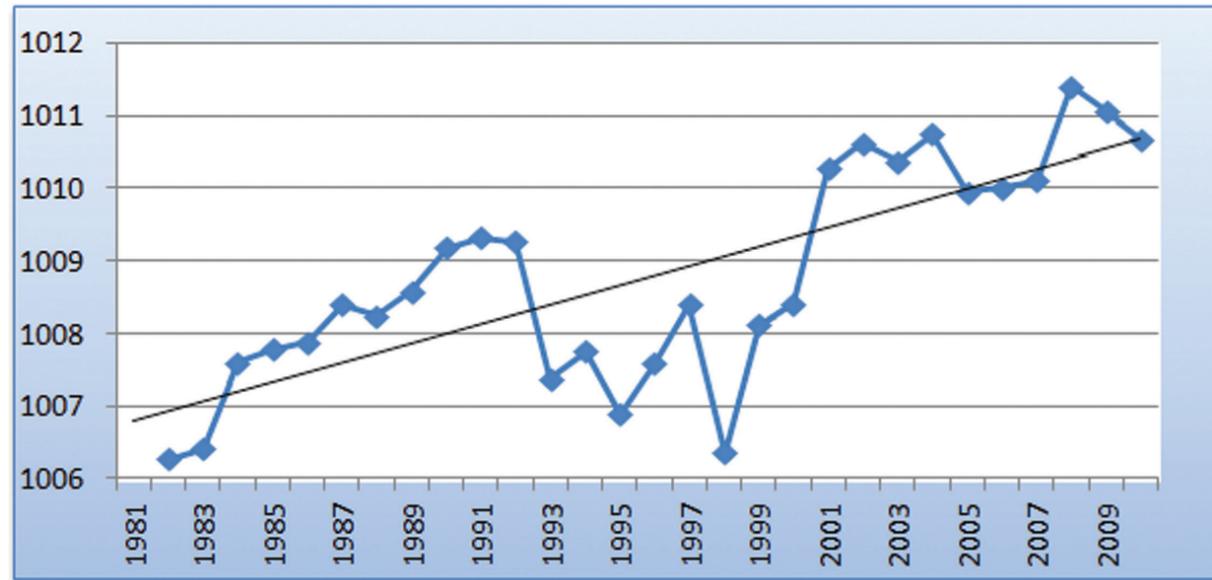


Figura 2.1.15 Presión reducida al nivel medio del mar en hPa

La insolación ha mostrado un ascenso importante, como se observa en la figura 2.1.16. Lo anterior se puede deber a que los sistemas de altas presión, que son los que ocasionan principalmente los cielos despejados, han aumentado en frecuencia, debido al incremento significativo de la presión atmosférica.

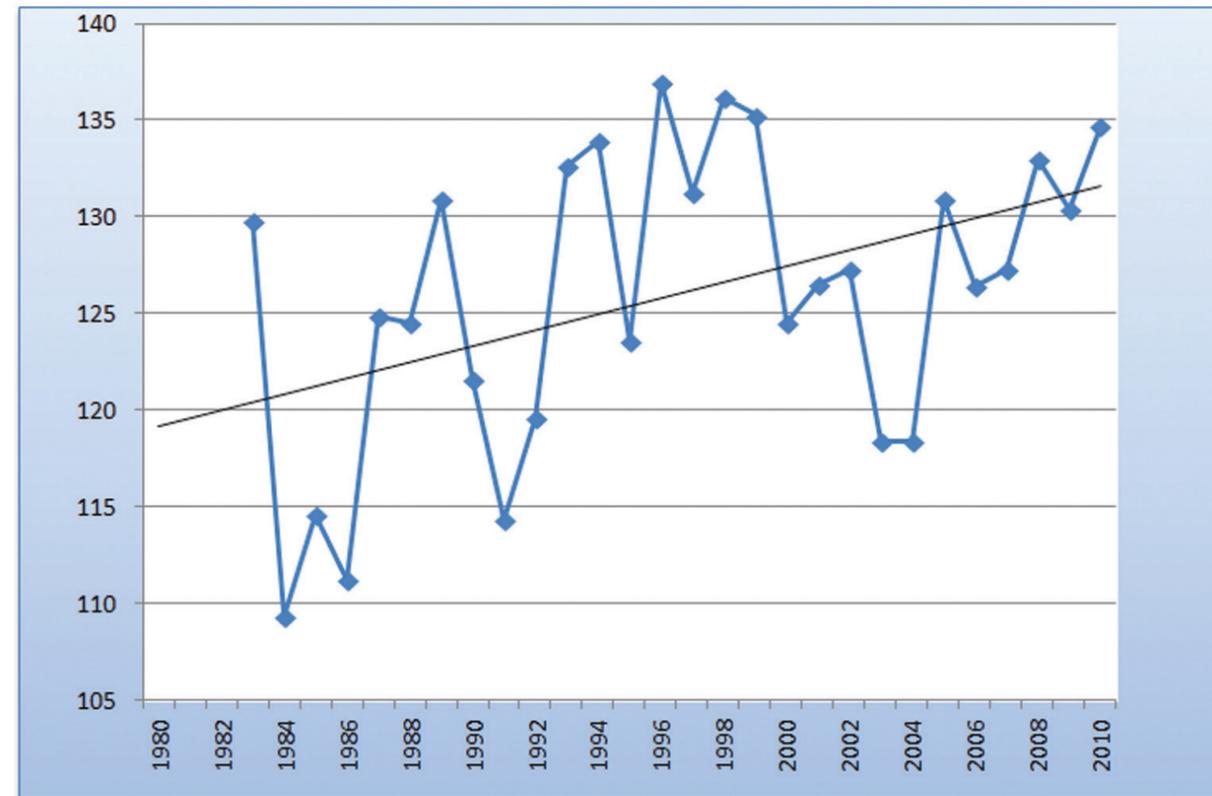


Figura 2.1.16 Insolación en horas

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1981	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1982	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1983	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1984	---	---	4.8	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1985	5.3	5.3	4.5	3.4	4.8	4.3	4.5	5.1	5.2	4.8	4.5	3.7
1986	---	---	5.8	---	4.9	5.8	5.4	3.4	3.4	3.4	4.6	3.8
1987	---	---	---	---	5	4.9	5.1	5	3.9	4.1	4.3	4.9
1988	5.1	5.7	6.2	6	5.5	4.5	4.1	4.1	4.2	3.5	---	---
1989	---	---	---	4.9	4.8	4.8	4.6	3.8	4.5	3.6	4.2	4.9
1990	5.7	5.8	5.6	4.9	4.7	3.4	4.2	4.2	3.8	3.7	0.7	0.9
1991	0.9	0.8	2.3	1.2	0.8	1.1	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7
1992	0.8	0.6	0.8	0.9	0.8	0.9	1.2	3.4	1.1	0.6	0.5	1
1993	0.8	1.1	1.2	1	1	0.9	0.9	1.2	1.2	0.7	0.6	0.5
1994	1	0.7	0.9	1.2	1.3	0.8	0.7	1	1.3	1.6	3.3	3.2
1995	0.8	0.9	1.1	1.2	1.1	1.1	1	0.9	0.8	0.8	0.6	0.8
1996	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1	1.2	1	1	0.5	0.9	0.8	0.6
1997	0.9	1.4	0.9	1.4	0.9	0.9	0.9	0.8	---	1	0.7	1
1998	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1999	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2000	0.2	0.5	0.8	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	---	---
2001	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2002	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2003	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2004	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.6	1.6	0.9
2005	0.9	2.9	1.3	3.1	2.7	4.3	3.9	3.3	3	2	1.6	1.4
2006	2.4	2.6	3.6	2.7	2.1	2.6	2.7	2.5	1.9	1.7	1.8	2.6
2007	3.6	2.9	2.5	2.6	2.1	1.7	1.2	2.4	2	2	2.3	2
2008	2.6	2.5	3	1.8	2.1	2	1.7	0.9	1.8	1.3	1.3	1.1
2009	1	1.7	1.8	1.9	0.5	F.S						
2010	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	2.7	3.1	2.7	2.1	2.4	2.2

Tabla 2.1.2 Velocidades medias en m/s

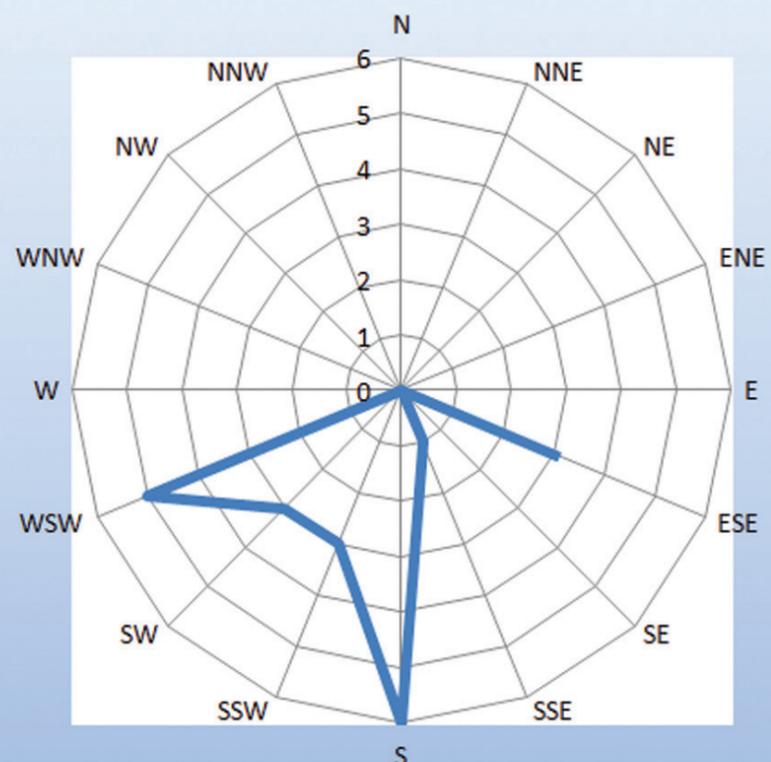


Figura 2.1.17 Años con viento dominante en enero

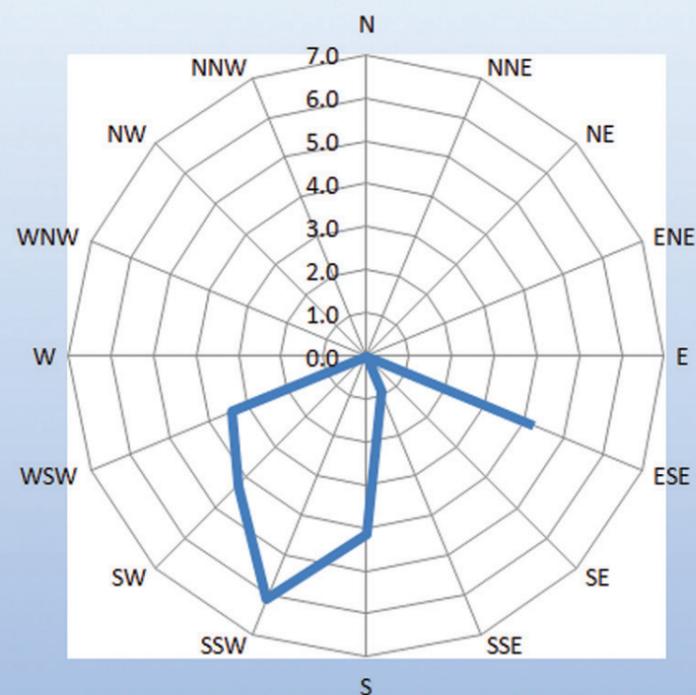


Figura 2.1.18 Velocidad viento dominante enero m/s

2.2 Observatorio de La Bufa

El observatorio de la Bufa, perteneciente en la actualidad a CONAGUA. Se inauguró en 1 de diciembre de 1906, desafortunadamente durante la revolución no operó, por lo que no hay datos de 1910 a 1921, año en el que comenzó nuevamente a funcionar. Desgraciadamente, no se puede comparar la información de este observatorio con el resto del estado, debido a que no existe información de otra estación u observatorio en la entidad, se hace la comparación con el resto de las estaciones únicamente en el periodo de normales climatológicas, de 1980 a 2010.

En este observatorio se miden y registran las siguientes variables meteorológicas:

Temperaturas diversas, presión atmosférica al nivel de superficie, presión reducida al nivel medio del mar, humedad relativa, tensión del vapor de agua, temperatura de punto de rocío, tensión máxima del vapor de agua, nubosidad, cantidad de nubes, insolación, precipitación, evaporación, viento, así como fenómenos diversos como niebla, tormentas eléctricas, nevadas, heladas, etc.

Toda esta información está capturada en un formato en Excel donde se presentan todos los datos medios y extremos mensuales de la mayoría de estas variables.

A continuación se mostrarán las principales gráficas con sus tendencias para que se observen las variaciones que han experimentado éstas con el paso del tiempo. Aquí es necesario especificar que lo que se muestra es el resultado anual, por lo que si se observan los datos mensuales puede haber una variación en la tendencia.

En la solicitud inicial se requirió de información sobre nubosidad, por lo que las 3 gráficas que se presentan corresponden a la tendencia de días despejados ($\bar{}$), días medio nublados ($\bar{}$) y número de días nublados (gráficas 2.2.1, 2 y 3) que se han registrado en el observatorio en los últimos 30 años. El historial con la información disponible se encuentra en los anexos digitales, por lo que en este capítulo únicamente se mostrará lo más sobresaliente.

El siguiente paso, posterior a este trabajo, será realizar pruebas estadísticas de todas y cada una de las variables y de todas las estaciones y observatorios.

A continuación se muestran las principales gráficas.

La gráfica 2.2.1 muestra el número de días despejados, como se puede observar, la tendencia es a aumentar 3 días/ década en los cielos despejados.

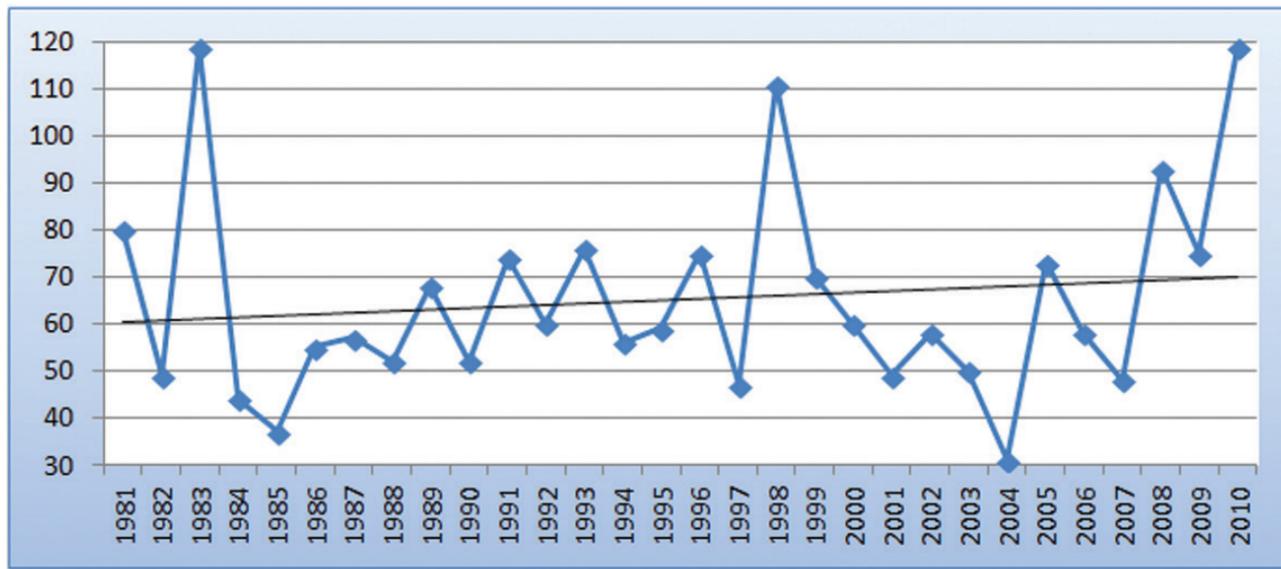


Figura 2.2.1 Número de días despejados

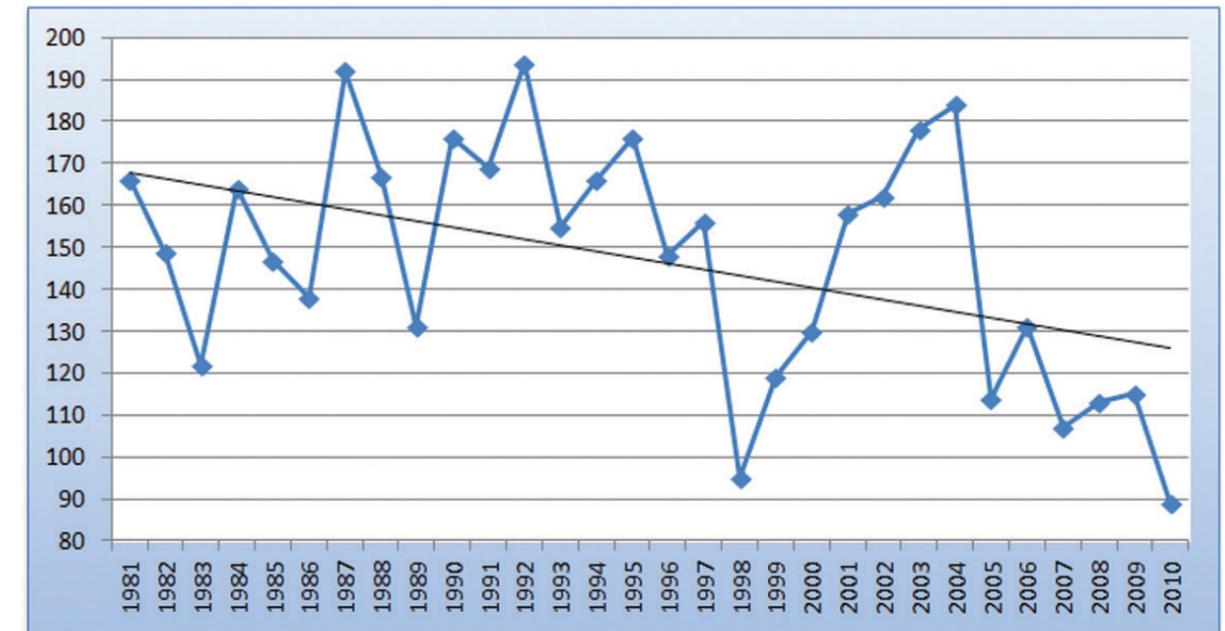


Figura 2.2.3 Número de días nublados

En la gráfica 2.2.2 se puede ver que el número de días medio nublados se ha incrementado significativamente, 4 días / década.

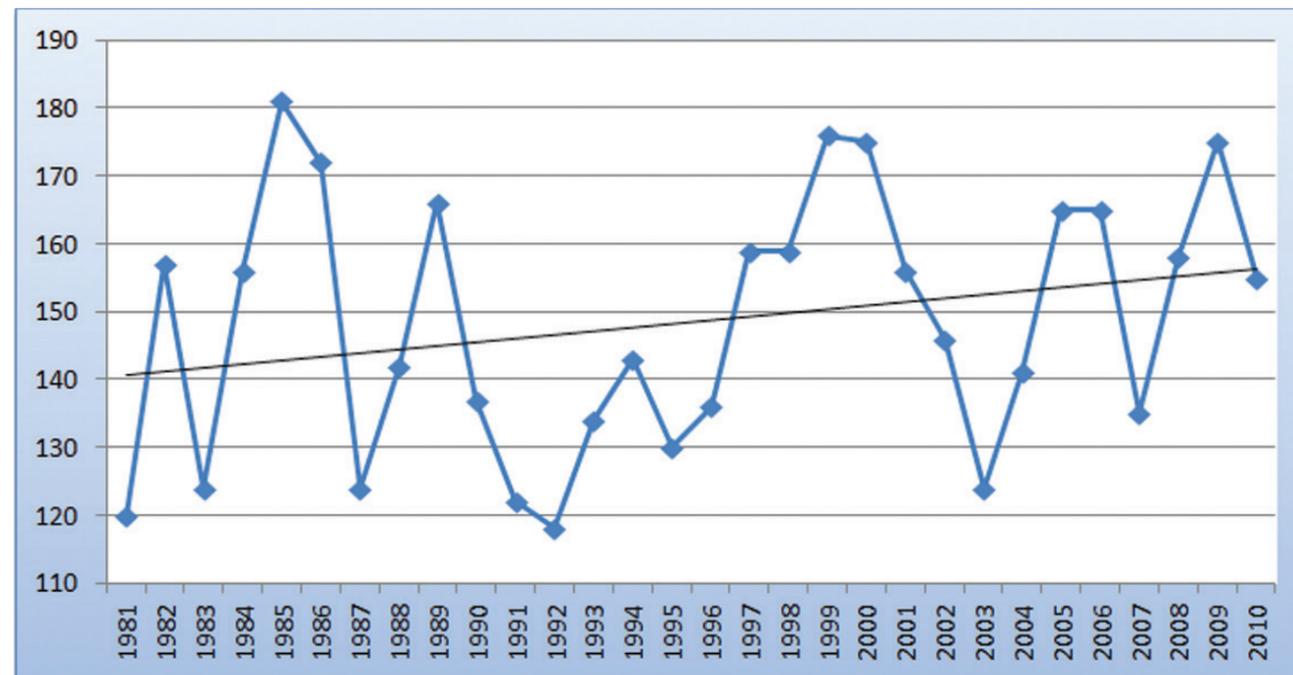


Figura 2.2.2 Número de días medio nublados

La gráfica 2.2.4 muestra la presión de la estación de los últimos 30 años. Se puede observar que la tendencia es una polinómica de cuarto grado.

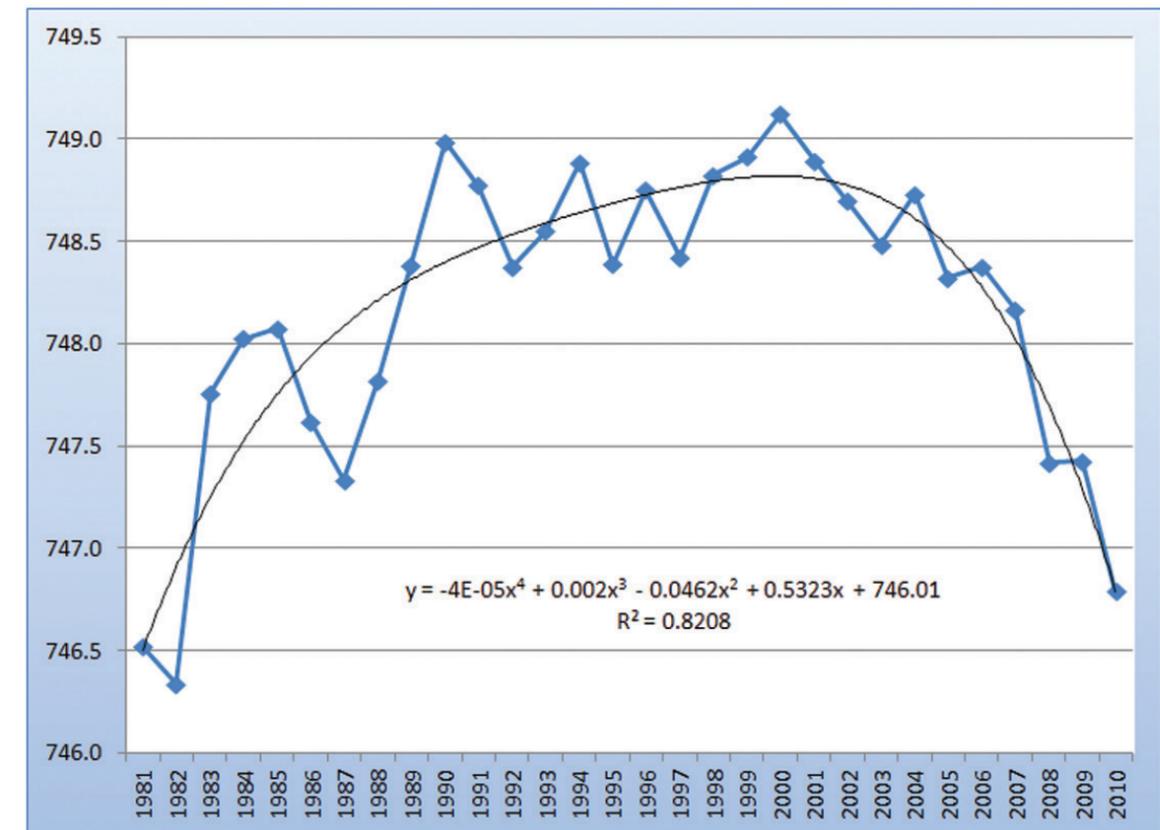


Figura 2.2.4 Presión atmosférica al nivel de la estación

Mientras que los cielos nublados, gráfica 2.2.3, presentan una disminución significativa de casi 13 días/década.

La siguiente gráfica número 2.2.5 describe mejor el comportamiento de esta variable, ya que se puede observar que el periodo de la onda es de aproximadamente de 75 años.

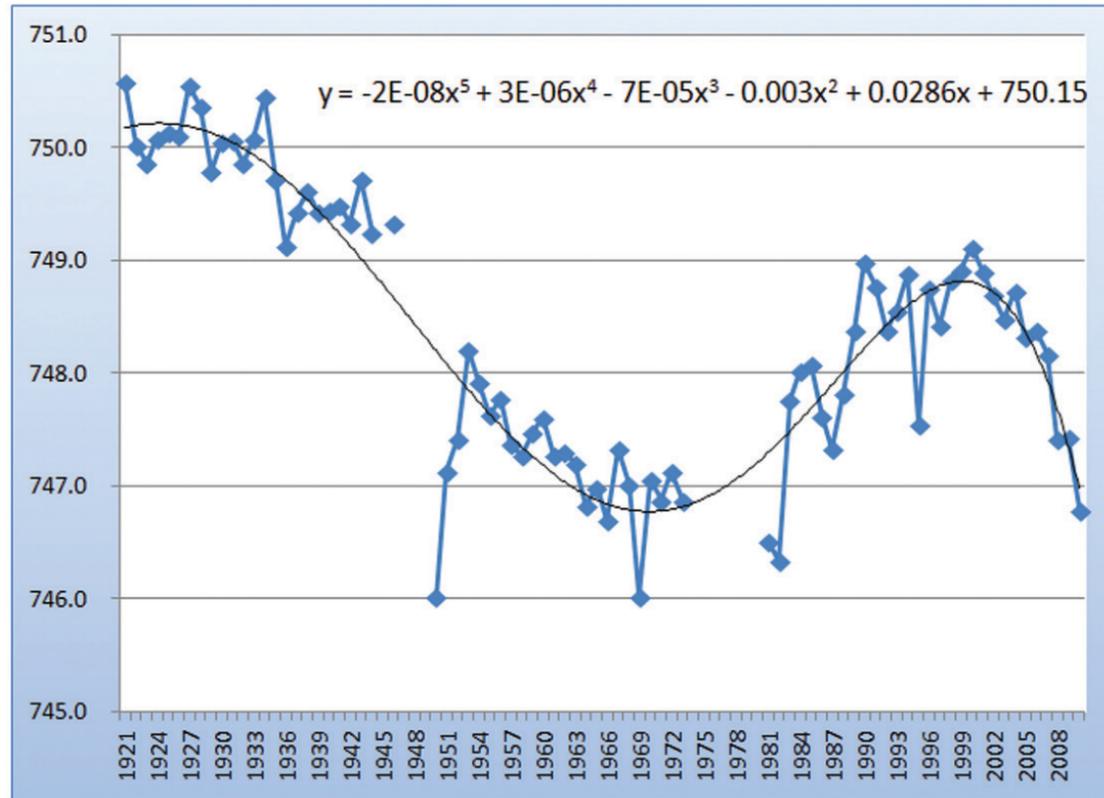


Figura 2.2.5 Presión al nivel de la estación histórica.

En la gráfica 2.2.6 se puede observar el incremento que se ha presentado en este observatorio respecto a la temperatura máxima. Un poco más de 0.6° C/década en el periodo de las normales.

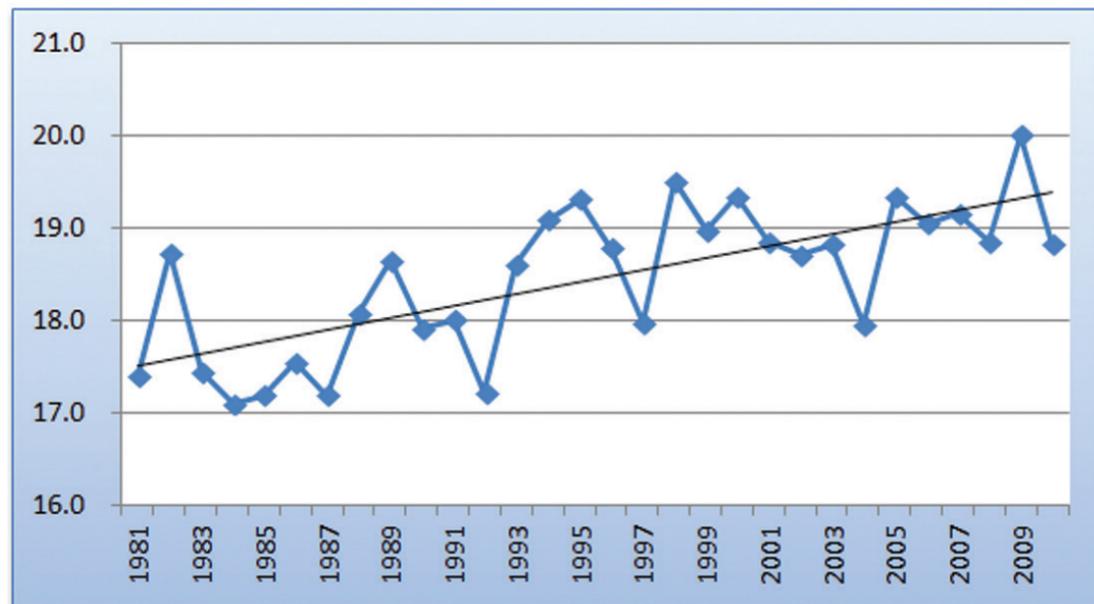


Figura 2.2.6 Promedio de temperatura máxima media anual

Al observar esta gráfica número 2.2.7, podemos comprobar la gráfica anterior. Aquí claramente se observa que las normales de 1981-2010 son donde se observan las temperaturas más altas que en el pasado. Únicamente durante los meses de marzo y abril es donde se observa poco cambio. La explicación posible de este hecho es que durante estos meses la corriente de chorro genera vientos fuertes y eso ocasiona que el calentamiento superficial no sea tan intenso. Igualmente se puede ver que en el periodo 1921-1950 y 1951-1980 la variación en la temperatura fue casi insignificante, con excepción del mes de noviembre, en que hubo un incremento en la temperatura.

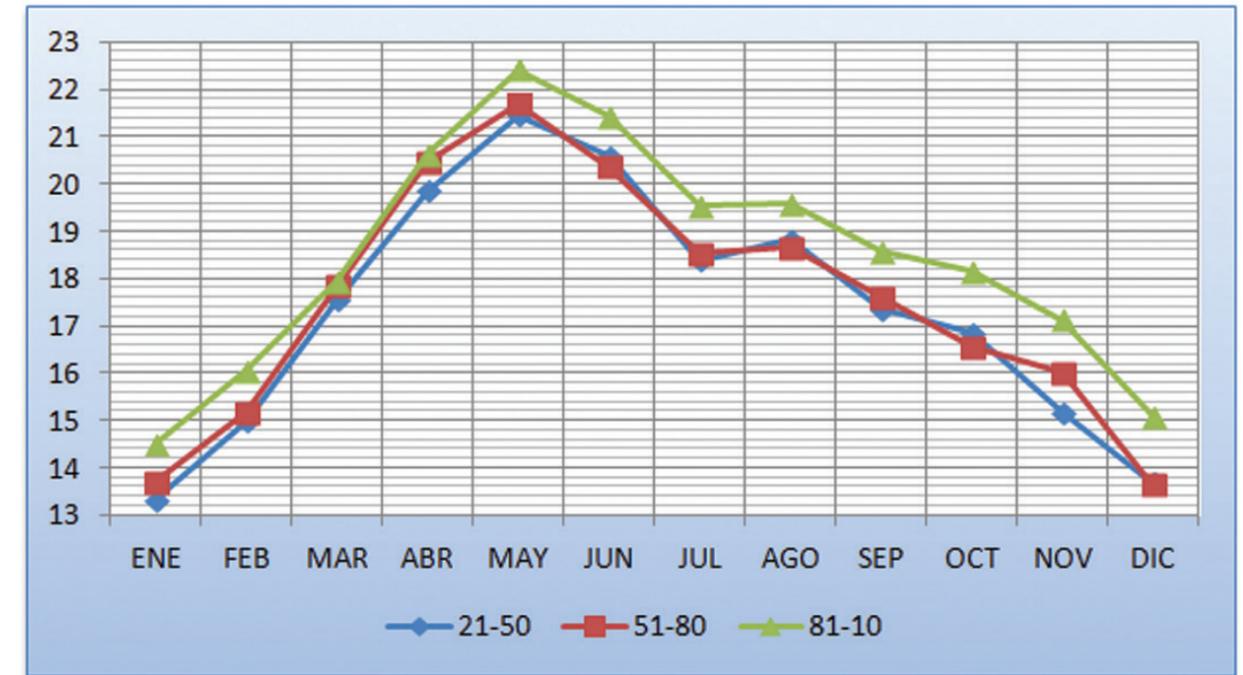


Figura 2.2.7 Normales de 30 años del promedio de temperaturas máximas

Ahora corresponde observar a las temperaturas mínimas. La gráfica 2.2.8 permite ver que las temperaturas mínimas han aumentado 0.2° C/década.

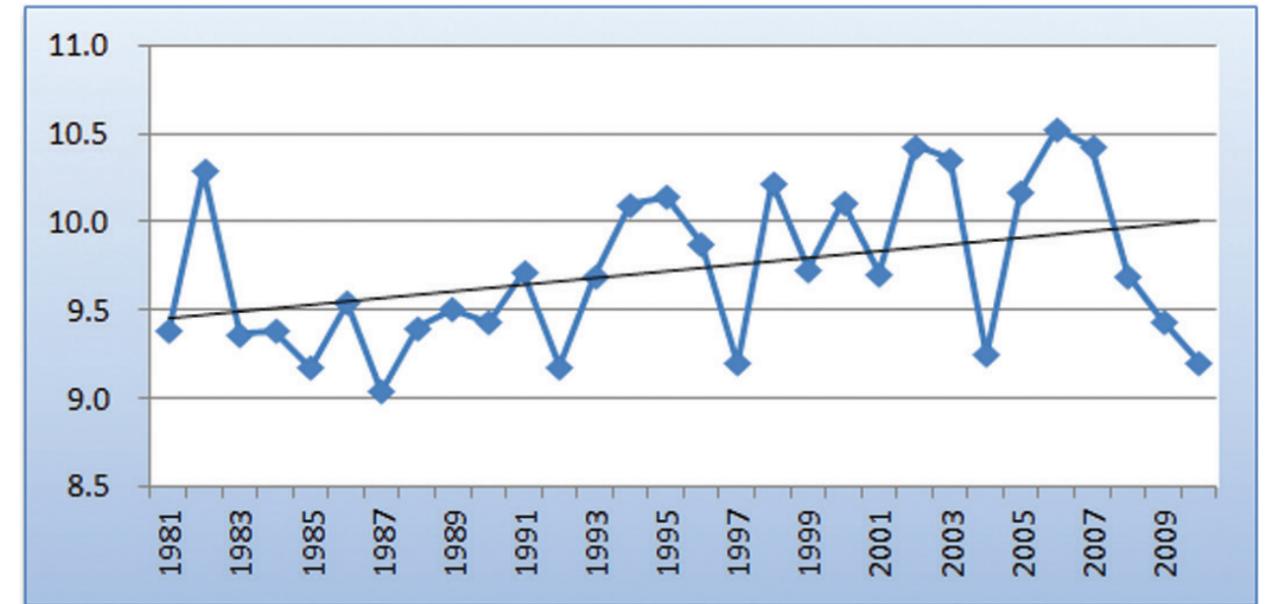


Figura 2.2.8 Promedio de temperatura mínima media anual

La gráfica 2.2.9 comprueba la gráfica anterior, pero a su vez, permite conocer que el cambio importante se encuentra en las normales de 1921-1950 y 1951-1980. En este intervalo es donde se presentó el cambio importante, ya que la variación de temperaturas mínimas de las normales 1951-1980 y 1981-2010 es mínima.

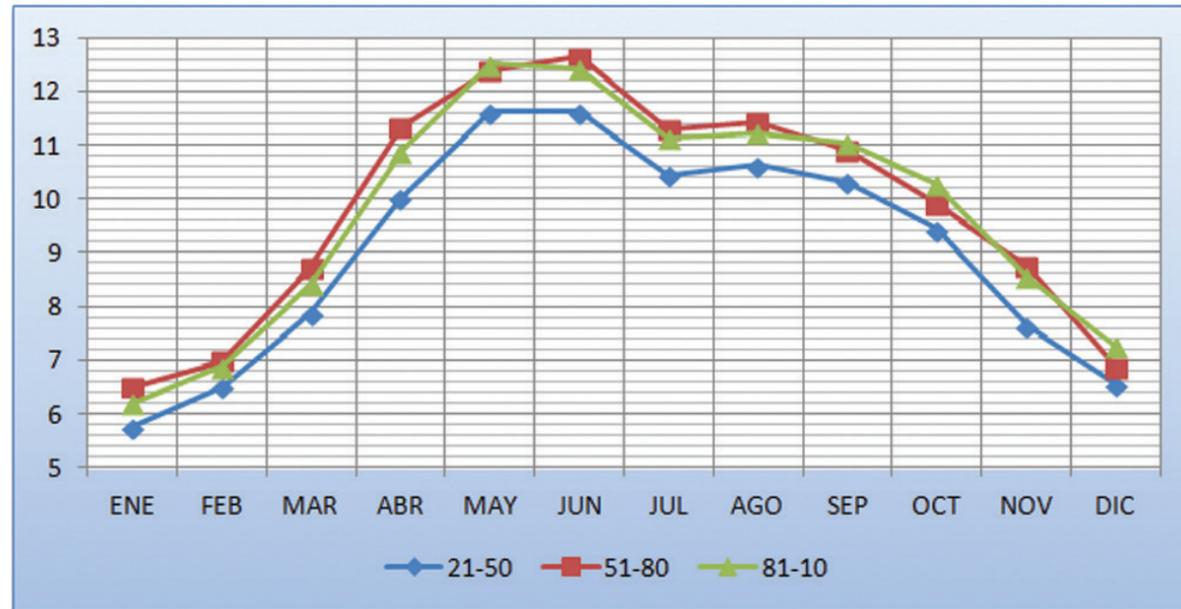


Figura 2.2.9 Normales de 30 años del promedio de temperaturas mínimas

La gráfica 2.2.10 muestra la variación que ha tenido la temperatura a través de todo el periodo que presenta el observatorio de información. Mayo el mes más cálido; enero y diciembre los meses más fríos. Las heladas se han presentado desde octubre hasta mayo. Solamente los meses desde junio a septiembre, que es la temporada de lluvias, no se han presentado heladas.

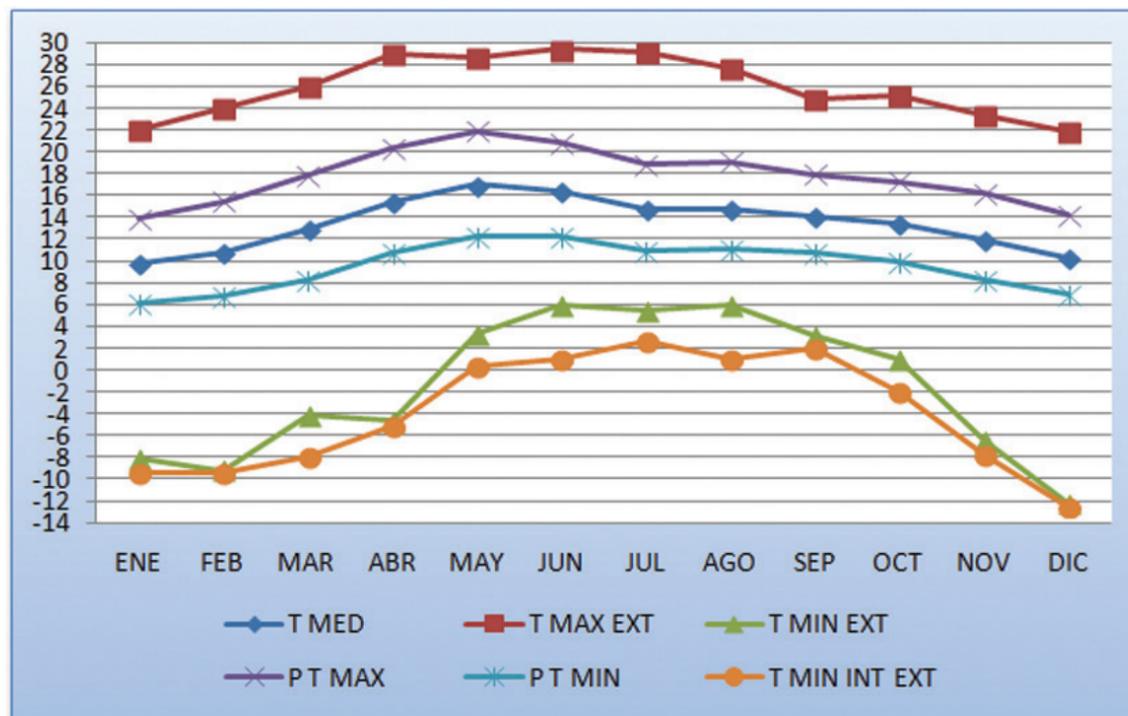


Figura 2.2.10 Temperaturas extremas, promedio de extremas y medias

La gráfica 2.2.11 muestra la oscilación en la temperatura. Ésta se ha incrementado $0.5^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Esto se debe probablemente a que cuando desciende la humedad, la oscilación de temperatura aumenta, por la capacidad que tiene el vapor de agua como gas de efecto invernadero.

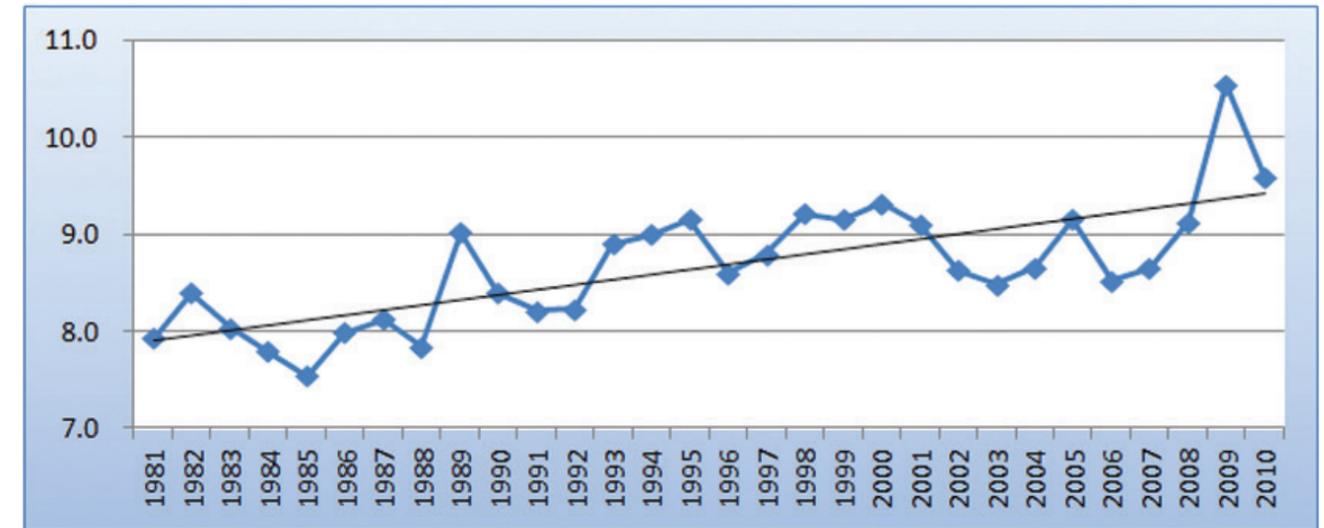


Figura 2.2.11 Oscilación de la temperatura media anual

La siguiente figura 2.2.12 muestra la tendencia de la temperatura media anual, en ella se puede observar que la tendencia de la temperatura muestra un incremento de $0.3^{\circ}\text{C}/\text{década}$

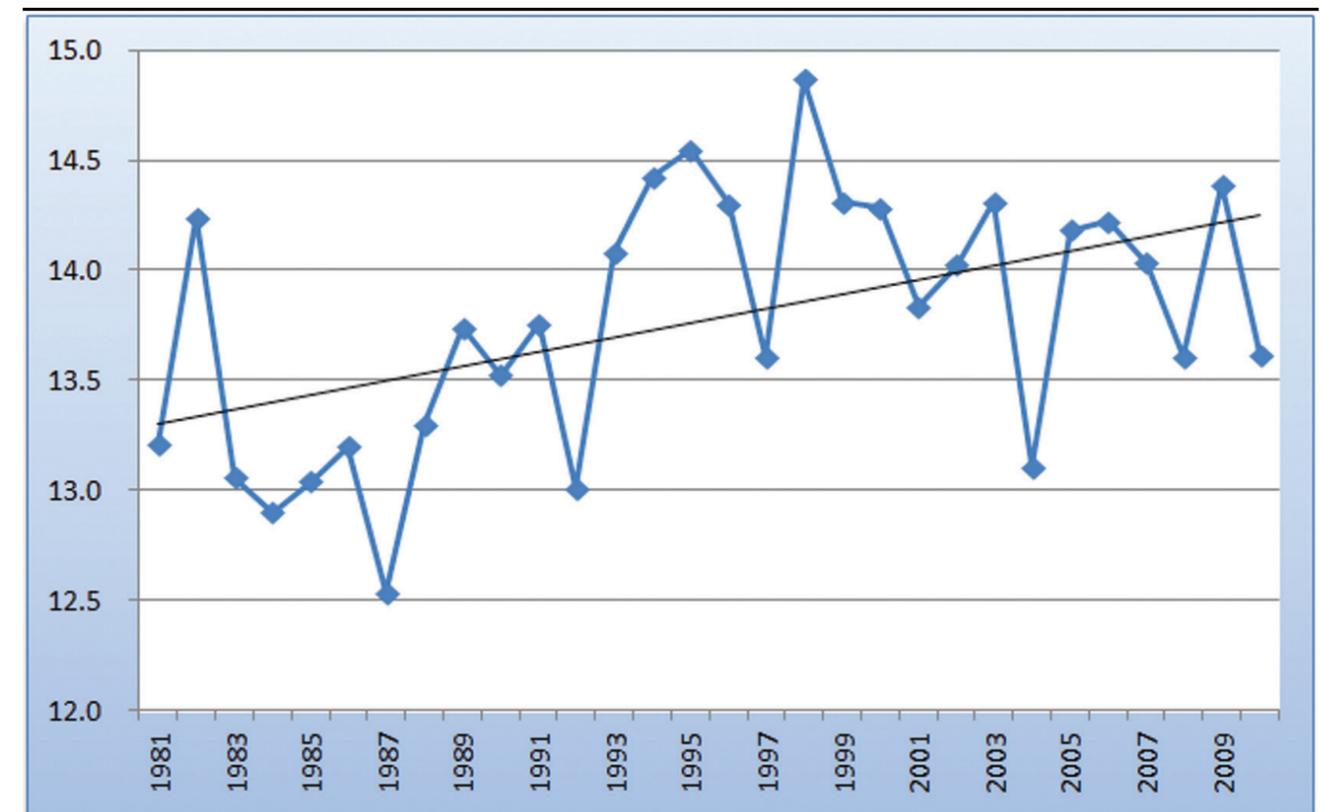


Figura 2.2.12 Temperatura media anual

Esta gráfica número 2.2.13 muestra el incremento de la temperatura con el tiempo. El mes que menos incremento ha tenido es marzo y el mes de mayor incremento es noviembre.

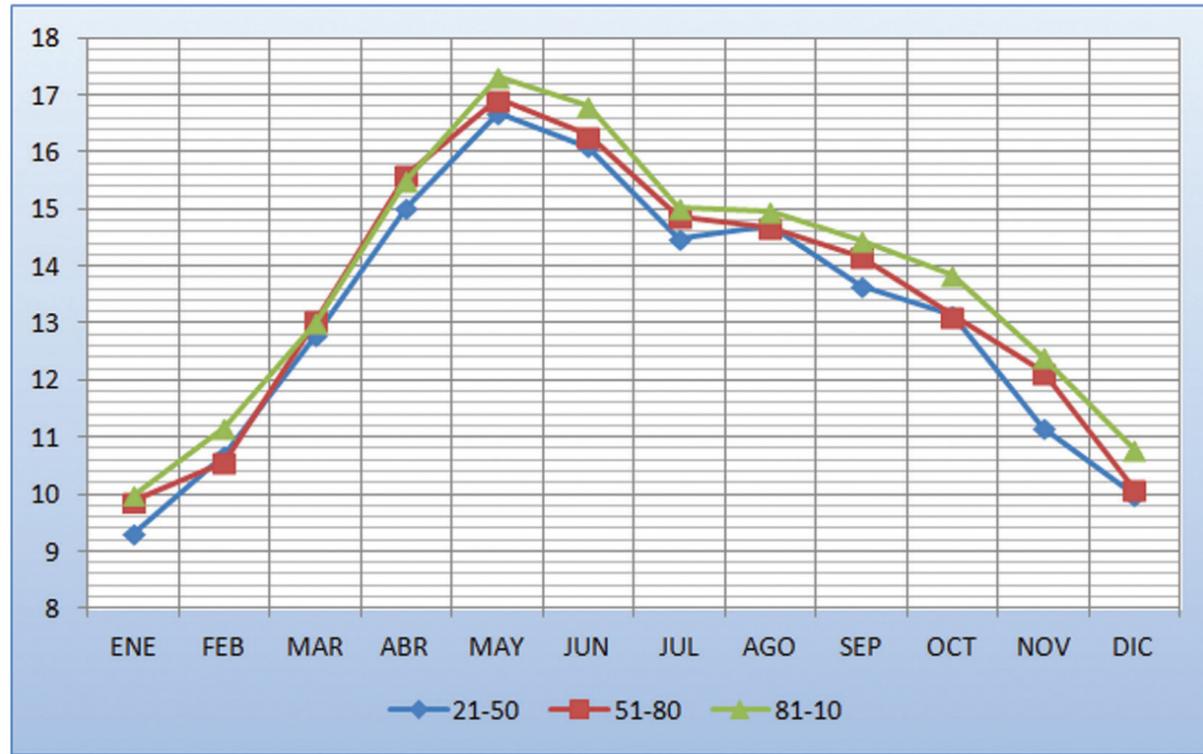


Figura 2.2.13 Normales de 30 años de las temperaturas medias

La figura 2.2.15 permite observar la misma tendencia que la gráfica anterior pero esta gráfica se grafica por su anomalía. Aquí se puede apreciar que el cambio importante se empezó a dar en la década de los cincuentas.

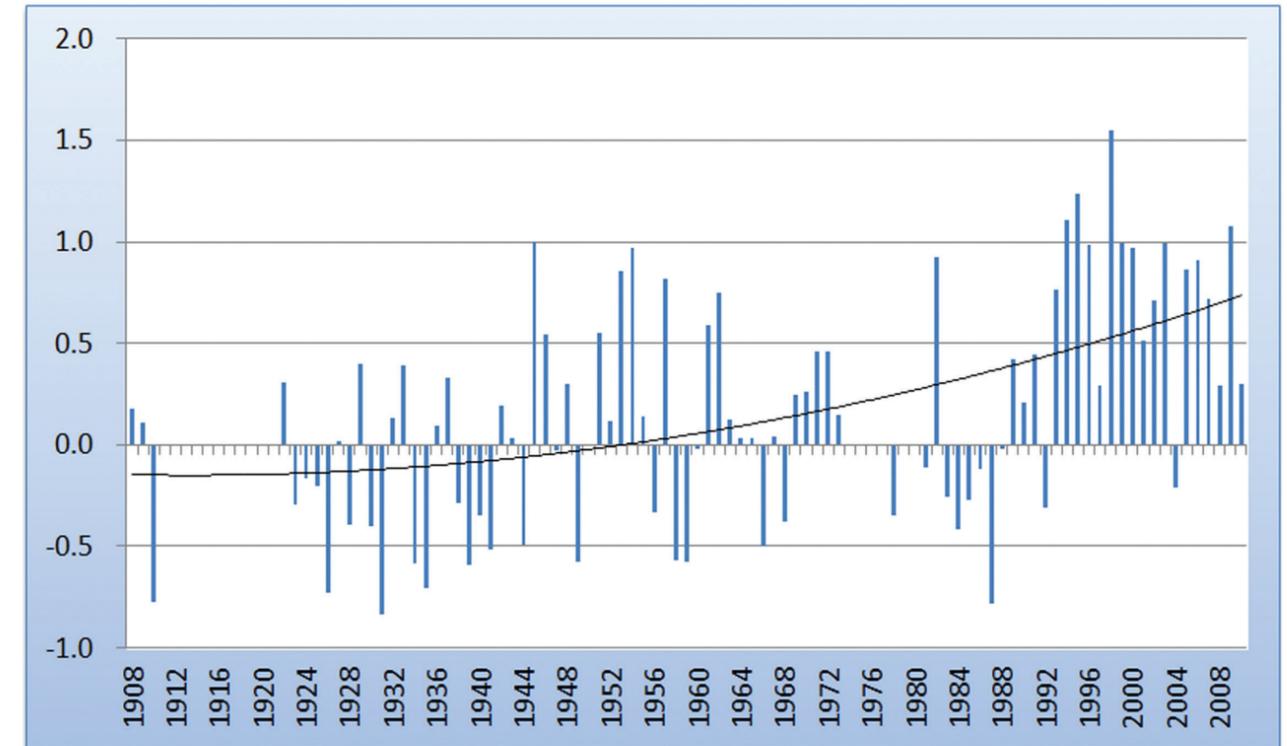


Figura 2.2.15 Anomalías de temperaturas medias

En la gráfica 2.2.14 se puede observar la evolución que la temperatura anual ha mostrado. La tendencia que se aplica mejor es polinómica de segundo grado.

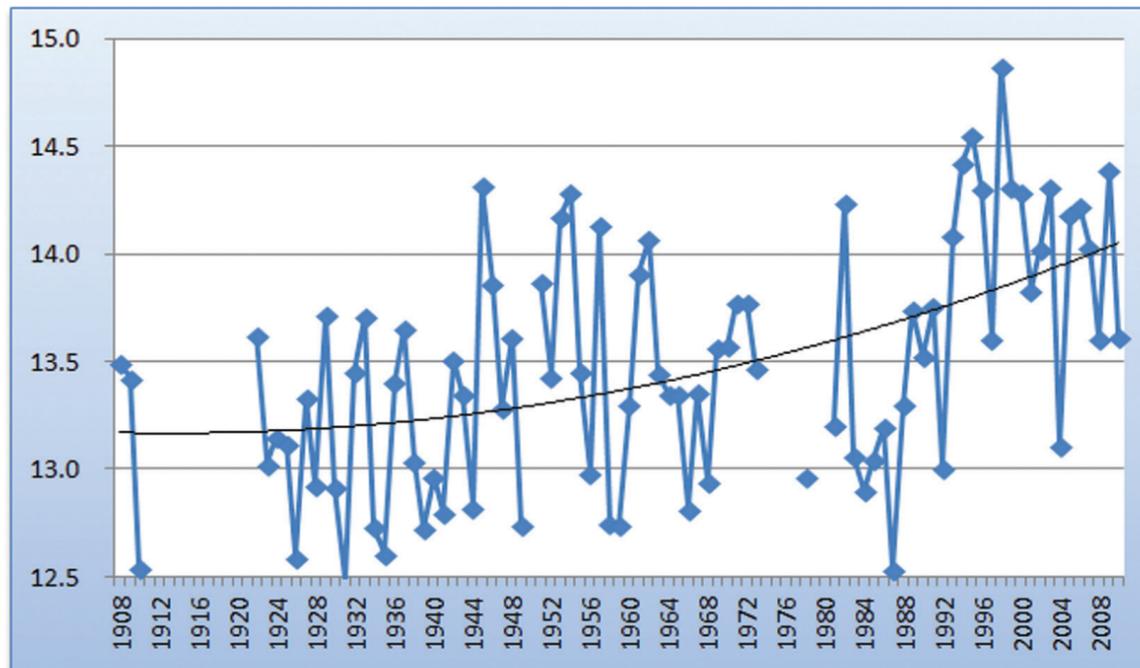


Figura 2.2.14 Temperatura media histórica anual

La tensión de vapor está disminuyendo en el promedio anual en la entidad durante los últimos 30 años. Esto se puede observar en la figura 2.2.16. La disminución durante este periodo es aproximadamente de 0.1 hPa/década.

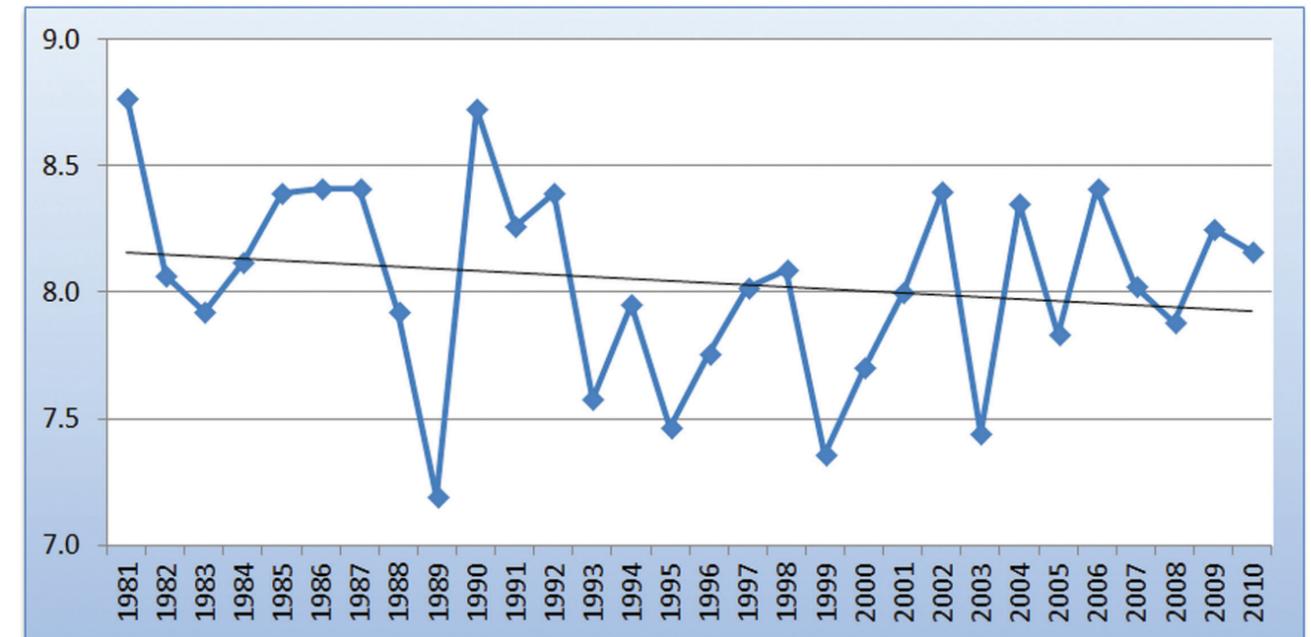


Figura 2.2.16 Tensión del vapor de agua media anual en hPa

La humedad relativa por su parte muestra igualmente una disminución importante de casi 1.6 % / década. Lo que se observa en la figura 2.2.17.

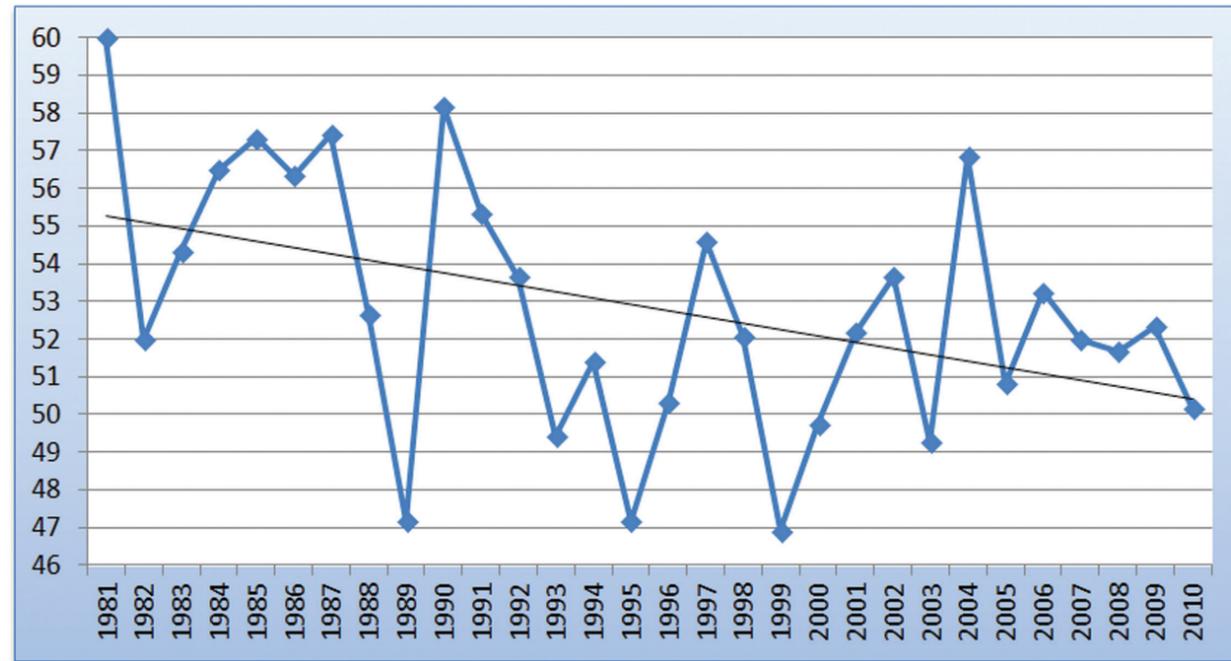


Figura 2.2.17 Humedad relativa anual

Debido a que la tensión del vapor de agua disminuye y la humedad relativa también, lo que se tiene a continuación en una disminución lógica en las precipitaciones anuales. Esto se observa claramente en la siguiente figura número 2.2.18.

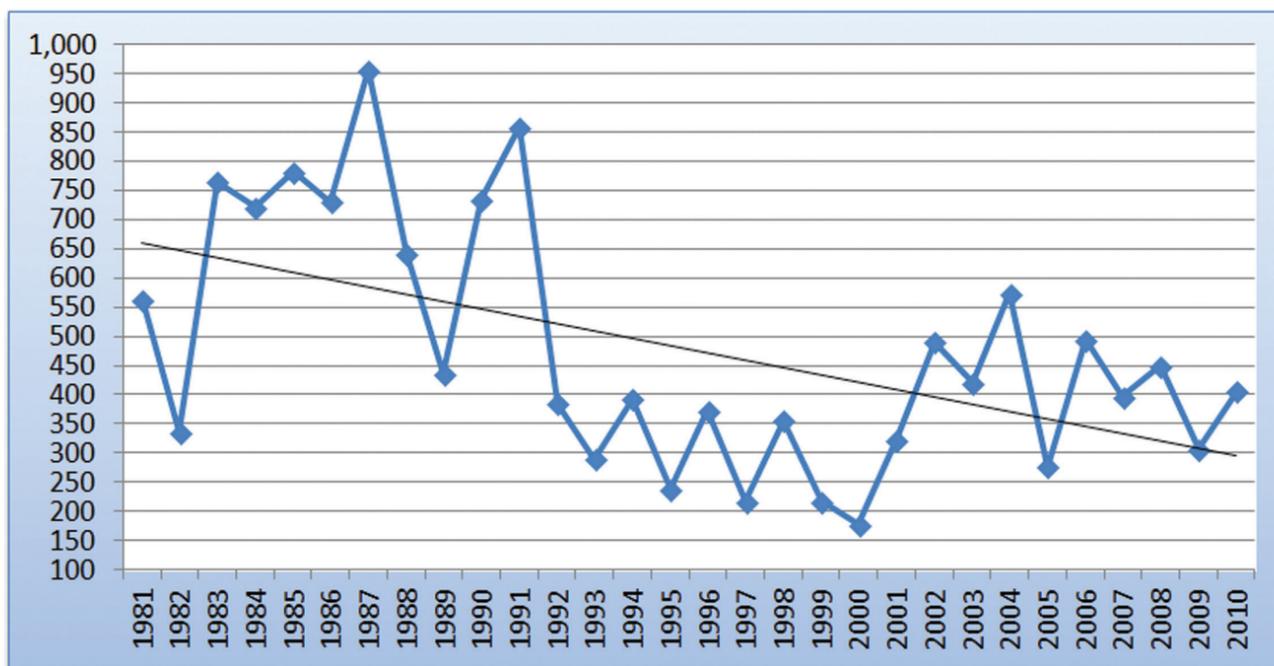


Figura 2.2.18 Precipitación anual

La figura 2.2.19 muestra la precipitación por normales. Las normales 1981-2010 son mayores porque la década de los ochentas mostró un incremento importante. Debido a ello se observa el incremento con respecto a las normales anteriores, aunque durante los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre no se observa ningún aumento.

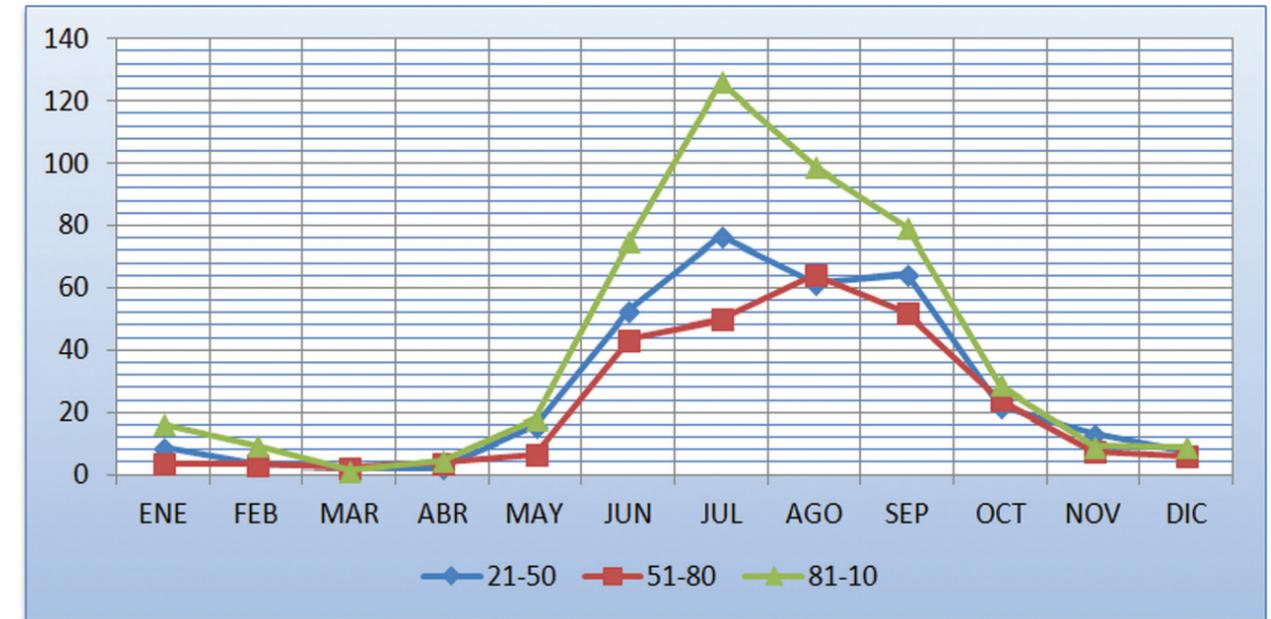


Figura 2.2.19 Normales de 30 años de precipitación media mensual

En la figura 2.2.20 se puede ver el comportamiento que ha tenido la precipitación a lo largo de más 130 años de historia. Esta gráfica es la unión de dos series de datos. En el año de 1976 se inauguró el observatorio de meteorología en Instituto de Ciencias en el centro de la ciudad de Zacatecas, pero no tiene un historial continuo de información, por tal motivo no se considera el primer observatorio a nivel Nacional. Posteriormente, en el año de 1906 se reubicó en el cerro de la Bufo y se cuenta con parte de esa información; sin embargo, durante la Revolución Mexicana dejó de operar, por lo que esta variable tiene información solamente a partir de 1921, año que reinició sus actividades. La distancia horizontal que existe entre lo que era el Instituto de Ciencias y el Observatorio de La Bufo es de 815 m, debido a esta pequeña distancia se decidió unir ambas series, con el objetivo de tener una idea del comportamiento de esta variable a lo largo de la historia. En esta gráfica se puede observar que casi cada 100 años se presenta un máximo, de ser esto cíclico, para la década de 2080 a 2089 se presentarían nuevamente precipitaciones muy abundantes. En la actualidad, la lluvia se encuentra en franco descenso.

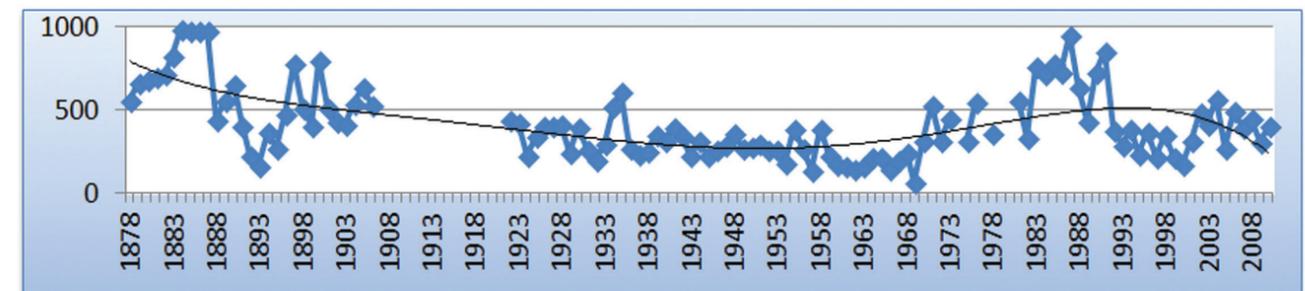


Figura 2.2.20 Precipitación anual histórica

La figura 2.2.21 muestra la frecuencia del viento mensual. En los anexos se tiene esta información completa por todos los meses.

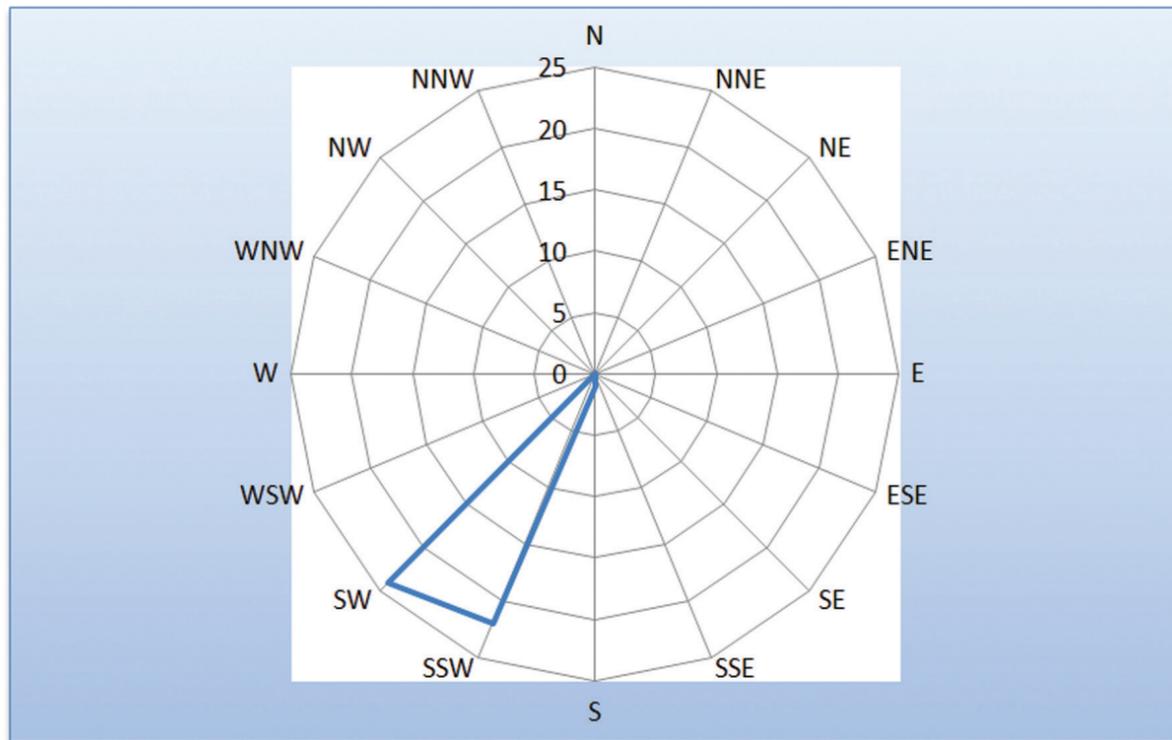


Figura 2.2.21 Años con viento dominante en enero

La figura 2.2.23 muestra la velocidad media del viento en todos los años de historia.

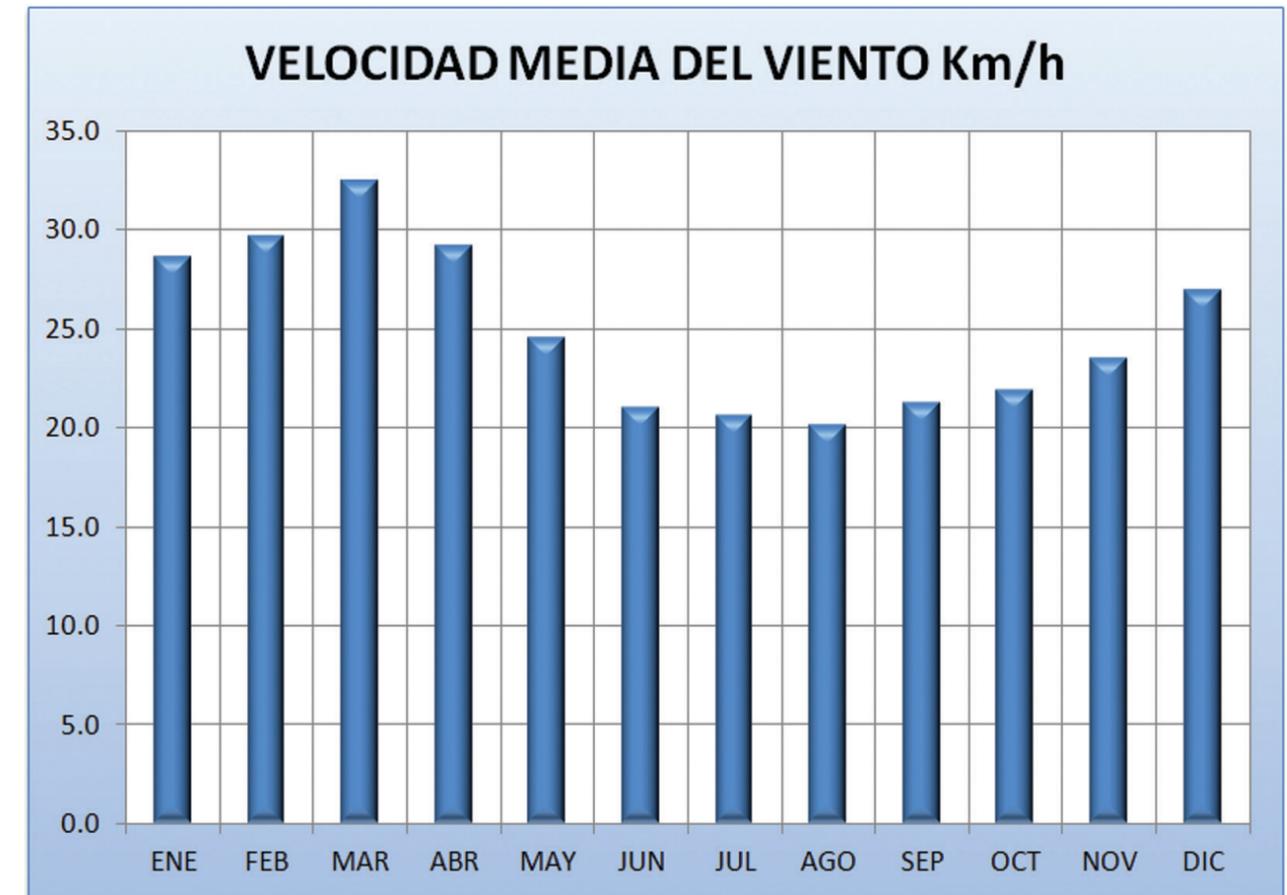


Figura 2.2.23 Velocidad media del viento histórica.

La figura 2.2.22 muestra la velocidad del viento de acuerdo a la dirección de donde sopla mensualmente. Igualmente, esta información completa por todos los meses se encuentra en los anexos digitales.

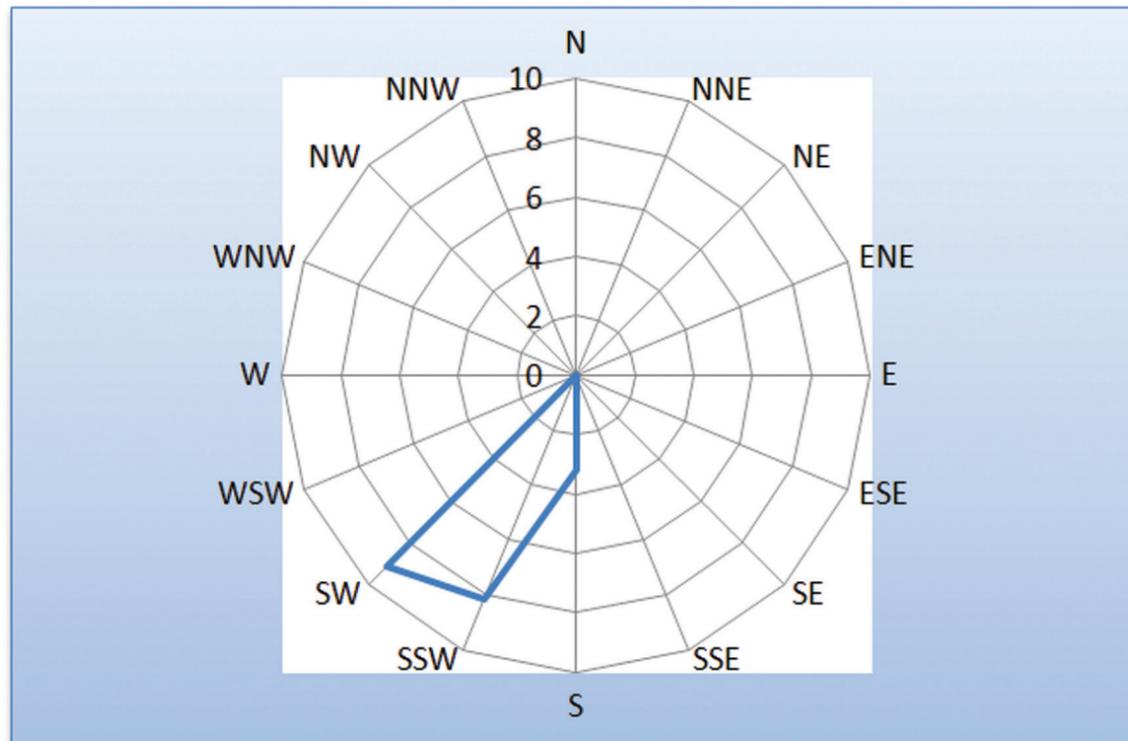


Figura 2.2.22 Velocidad del viento en enero m/s

La tabla 2.2.1 muestra la frecuencia de los vientos dominantes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NNE	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0	0	2	0	1	3	1	0	0
E	0	1	0	1	6	42	46	45	45	36	9	2
ESE	0	0	0	0	0	3	2	1	1	4	0	0
SE	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	0
SSE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
S	2	2	0	0	1	0	0	0	0	2	2	5
SSW	22	18	17	13	12	0	0	0	0	1	12	17
SW	24	28	33	34	26	1	0	0	0	6	21	25
WSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 2.2.1 Frecuencia de los vientos dominantes

La figura 2.2.24 muestra la forma 5. Esta forma consiste en el resumen mensual emitido por el observatorio. En los archivos digitales se encuentran más de 57 años de información capturada.

**COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL**

OBSERVATORIO LA BUFA ESTADO ZACATECAS
RESUMEN DEL MES DE: DICIEMBRE DE 2010
LATITUD 22°46'42" LONGITUD 102°33'59"

(1) TEMPERATURA DEL AIRE AL ABRIGO °C				(7) VIENTOS (Velocidad en m/s)			
Termómetro seco (media)	11.4			Dirección dominante en el mes	S/D		
Desviación estandar	2.5			Velocidad media en los dominantes	S/D		
Termómetro húmedo (media)	3.3			Velocidad media en el mes	S/D		
Termómetro máxima más alta	19.8	el día	1	Velocidad máxima absoluta y dirección	S/D		S/D
Termómetro mínima más baja	2.0	el día	26	(8) NUBES			
Oscilación media en el mes	9.6			Cantidad media mensual	0		
Oscilación máxima diaria	17.7	el día	1	Clases dominantes	CI		
Oscilación mínima diaria	5.7	el día	12	Dirección de las nubes dominantes	SW		
Promedio de las máximas diarias	16.6			Número de días nublados	0		
Promedio de las mínimas diarias	6.9			Número de días medio nublados	1		
Media diaria máxima	15.2	el día	22	Número de días despejados	29		
(la mayor de las medias diarias)				(9) INSOLACIÓN			
Media diaria mínima	7.3	el día	30	En enteros	284.1		
(la menor de las medias diarias)				Total en el mes	284 hrs. 5 min		
(2) TERMÓMETROS DE MÍNIMA A LA INTEMPERIE (de 0 a 20 cm del suelo)				(10) LLUVIAS (Altura en mm)			
Mínima más baja	1.0	el día	1	Total mensual	0.0		
Media mensual	6.1			Número de días con lluvia de 0.1 mm en adelante	0.0		
(3) TENSIÓN DEL VAPOR DE AGUA ATMOSFÉRICO				(11) VISIBILIDAD (Km)			
Media mensual	4.1			Dominante Diurna	30.0	D Nocturna	10.0
Máxima	8.1	el día	6	(12) FENÓMENOS DIVERSOS (días)			
Mínima	1.2	el día	11	Truenos el día	0	TOTAL DÍAS	
(4) HUMEDAD RELATIVA EN %				Mayor lluvia diaria	0.0	el día	
Media mensual	32			Mayor lluvia horaria	0.0	el día	
Máxima	97	el día	26	La hora: --- a --- h.			
Mínima	6	el día	11	(11) VISIBILIDAD (Km)			
(5) EVAPORACIÓN EN MILIMETROS DE ALTURA				(12) FENÓMENOS DIVERSOS (días)			
Media mensual	5.78			Tolvanera	0		
Máxima	13.60	el día	30	Tromba	0		
Mínima	2.12	el día	27	Escarcha durante los días	0		
Evaporación total en el mes	173.34			Polvo	0		
(6) PRESIÓN				(12) FENÓMENOS DIVERSOS (días)			
		De la Estación	Reducida al nmm	Halo solar durante los días	0		
ATMOSFÉRICA (MBS)		VALOR	DÍA	VALOR	DÍA		
1.- Presión media mensual	747.28	-----	1012.81	-----	0		
2.- Máxima presión en el mes	751.78	5	1024.78	9	0		
3.- Mínima presión en el mes	739.87	30	1004.92	15	0		
4.- Oscilación extrema mensual	11.91	-----	19.86	-----	0		
5.- Media diaria máxima	750.55	6	1019.56	6	0		
6.- Media diaria mínima	741.25	30	1007.99	15	0		
7.- Oscilación diaria máxima	3.61	23	11.32	9	0		
8.- Oscilación diaria mínima	2.14	6	5.26	4	0		
9.- Oscilación media mensual	2.74	-----	7.41	-----	11		
				Halo lunar durante los días	0		
				Corona solar durante los días	0		
				Corona lunar durante los días	0		
				Niebla durante los días 25 Y 26	2		
				Tormenta eléctrica durante los días	0		
				Granizada durante los días	0		
				Heladas durante los días	0		
				Rocío durante los días	0		
				Nevada durante los días	0		
				Calima durante los días1*,3,4,6,7,12,19,22,23,25,26	11		

Figura 2.2.24 Forma 5 mensual

Capítulo III

Base de datos del INIFAP



3.1 Estaciones del INIFAP

La base de datos de INIFAP Zacatecas consiste de 36 estaciones climatológicas automáticas que miden diversas variables meteorológicas. Debido a que las estaciones de CONAGUA no registran información de vientos, humedad relativa y radiación solar, se tuvo la necesidad de utilizar esta información. Aunque esta red no tiene mucho historial, sí cuenta con las variables solicitadas por el IEMAZ, por lo que se incluyen en este trabajo, además nos permite ver campos muy interesantes, como el de la humedad relativa, vientos, tensión del vapor y radiación solar.

Para los fines de este trabajo las variables que se analizan son:

Temperatura máxima, mínima y media; precipitación, humedad relativa, radiación solar y viento. La desventaja que tiene esta red de estaciones es que cuenta con poco historial, ya que la que más años tiene, comenzó desde el año 2002.

La lista de estaciones con su periodo de inicio es la siguiente:

- | | |
|--|--|
| 1. Ábrego, Fresnillo, desde 2003 | 19. Emiliano Zapata, Fresnillo, desde 2002 |
| 2. Agronomía, Zacatecas, desde 2003 | 20. Estancia Las Ánimas, Villa González Ortega, desde 2005 |
| 3. Agua Nueva, Villa de Cos, desde 2005 | 21. La Providencia, Sombrerete, desde 2002 |
| 4. Biología, Guadalupe, desde 2003 | 22. Las Arcinas, Trancoso, desde 2006 |
| 5. Campo Uno, Miguel Auza, desde 2005 | 23. La Victoria, Pinos, desde 2002 |
| 6. Cañitas, Cañitas de Felipe Pescador, desde 2005 | 24. Loreto, Loreto, desde 2002 |
| 7. CBTA Tepechitlán, Tepechitlán, desde 2004 | 25. Marianita, Mazapil, desde 2004 |
| 8. CBTA Valparaíso, Valparaíso, desde 2003 | 26. Mesa de Fuentes, Enrique Estrada, desde 2005 |
| 9. CEZAC, Calera, desde 2002 | 27. Mogotes, Francisco R. Murguía, desde 2005 |
| 10. Chaparrosa, Villa de Cos, desde 2002 | 28. Momax, Momax, desde 2005 |
| 11. COBAEZ Villa de Cos, Villa de Cos, desde 2005 | 29. Rancho Grande, Fresnillo, desde 2003 |
| 12. Col. Emancipación, Fresnillo, desde 2002 | 30. Santa Fe, Jerez, desde 2005 |
| 13. Col. González Ortega, Sombrerete, desde 2005 | 31. Santa Rita, Jerez, desde 2002 |
| 14. Col. Progreso, Río Grande, desde 2002 | 32. Santo Domingo, Jalpa, desde 2003 |
| 15. Col. Hidalgo, Sombrerete, desde 2002 | 33. Sierra Vieja, Villa de Cos, desde 2002 |
| 16. El Alpino, Ojocaliente, desde 2003 | 34. Tanque Hacheros, Mazapil, desde 2004 |
| 17. El Pardillo 3, Fresnillo, desde 2002 | 35. Tierra Blanca, Tabasco, desde 2003 |
| 18. El Saladillo, Gral. Pánfilo Natera, desde 2002 | 36. Villanueva, Villanueva, desde 2002 |

El mapa siguiente, figura 3.1.1 muestra la ubicación de estas estaciones:

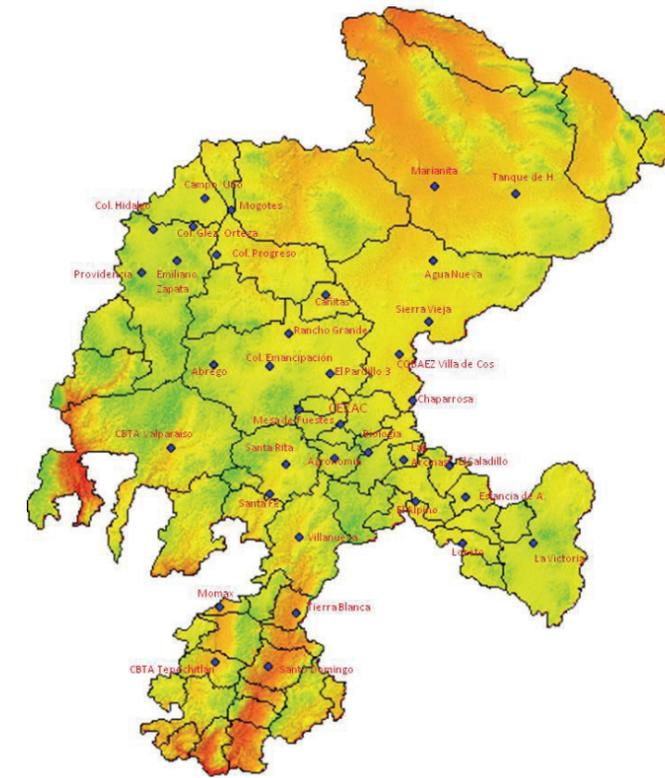


Figura 3.1.1 Ubicación de estaciones del INIFAP

Sin embargo, debido a que la información proporcionada por INIFAP Zacatecas no era suficiente para la elaboración de los mapas climatológicos, se tuvo que obtener la información en la página de internet del INIFAP Nacional. De ahí se obtuvieron la información climatológica de las siguientes estaciones:

AGUASCALIENTES	Empacadora de Melón	GUANAJUATO	Puente de Camotlán
El Cedazo	Rancho Las Mercedes.	San Francisco	
El Potrerito	Rancho Guadalupe.		SAN LUIS POTOSÍ
La Lagunita	Rancho La Gloria.	JALISCO	El Encanto
La Salada	Rancho El Padrino.	La Casita	El Polvorín
Presa Calles		Rancho San José	San Ignacio
	DURANGO	Rancho Ocotengo	La Lugarda
	Damián Carmona		Yolialt
COAHUILA	Ramón Corona	NAYARIT	INIFAP SLP
La Laguna	San Francisco	Huajumic	Santa Clara
El Porvenir	Santa Clara	Mesa del Nayar	
Emiliano Zapata			

La página de Internet del INIFAP no proporciona viento a detalle, ni radiación solar. Por lo que para el estudio únicamente se utilizaron las temperaturas máxima, media y mínima, humedad relativa y precipitación de estas estaciones.

3.2 Procedimiento de cálculo para temperaturas, humedad relativa y radiación solar

La base de datos diarios está en formato Excel, como se muestra en la tabla 3.1.1, se copian los datos en otro archivo de Excel que tiene varios procedimientos en Visual BASIC, los cuales generan archivos independientes que se leen y copian en otro archivo en el orden deseado y con los cálculos diversos realizados como se muestra en la tabla 3.1.2. Igualmente se generan las gráficas muy útiles para todo aquel que desee estudiar el clima de una región.

FECHA	TMAX	TMIN	TMED	PRECIP	HUMRELMAX	HUMRELMIN	HUMRELMED	RADGLOBAL	VELVIENTOMAX	VELVIENTOMED	DIRVIENTO
16/04/2003	29.4	12.2	21.2	0.0	39.0	11.0	22.1	29915.0	33.0	14.6	OSO
17/04/2003	29.0	8.9	20.9	0.0	57.0	8.0	27.7	26682.0	32.0	11.6	OSO
18/04/2003	28.5	13.4	21.7	0.0	45.0	10.0	22.7	26068.0	43.0	19.1	OSO
19/04/2003	27.3	11.3	19.5	0.0	42.0	13.0	24.6	21104.0	47.0	17.7	SO
20/04/2003	26.5	11.6	19.2	0.0	47.0	11.0	25.9	21458.0	28.0	8.5	O
21/04/2003	28.1	8.4	18.4	0.0	63.0	11.0	31.5	23483.0	37.0	11.2	OSO
22/04/2003	26.4	8.0	18.9	0.0	52.0	13.0	26.9	23750.0	41.0	16.9	OSO
23/04/2003	26.3	9.9	19.1	0.0	48.0	12.0	28.1	28750.0	46.0	21.2	OSO
24/04/2003	25.4	11.0	17.9	0.0	49.0	13.0	30.3	20794.0	36.0	14.6	SO
25/04/2003	27.8	11.0	19.9	0.0	53.0	8.0	25.4	29498.0	38.0	20.4	OSO
26/04/2003	27.1	9.7	19.8	0.0	46.0	9.0	24.7	24846.0	33.0	14.4	OSO
27/04/2003	28.1	9.4	19.0	0.0	51.0	8.0	25.6	24013.0	29.0	9.9	O
28/04/2003	26.7	12.7	19.7	0.0	46.0	9.0	24.9	14861.0	27.0	10.1	O
29/04/2003	26.0	12.2	19.1	0.0	42.0	12.0	27.0	18034.0	42.0	14.2	NO
30/04/2003	27.3	14.5	20.8	0.0	39.0	13.0	25.4	20682.0	32.0	13.4	OSO
01/05/2003	27.6	9.6	19.9	0.0	56.0	11.0	29.6	26254.0	45.0	18.1	OSO
02/05/2003	30.8	10.3	22.0	0.0	53.0	11.0	26.1	26511.0	36.0	9.3	ONO
03/05/2003	31.3	12.7	23.2	0.0	56.0	11.0	25.3	24188.0	29.0	7.6	O
04/05/2003	32.3	13.7	23.7	0.0	36.0	8.0	18.8	29073.0	26.0	10.5	OSO
05/05/2003	31.7	11.2	22.5	0.0	54.0	9.0	24.7	28748.0	37.0	12.2	OSO
06/05/2003	29.8	12.6	22.0	0.0	59.0	10.0	26.0	28871.0	30.0	15.4	OSO
07/05/2003	31.7	10.9	22.5	0.0	42.0	7.0	20.3	29189.0	29.0	12.2	OSO
08/05/2003	31.7	11.4	23.3	0.0	41.0	8.0	18.4	28832.0	33.0	11.4	OSO
09/05/2003	31.0	11.7	23.1	0.0	38.0	9.0	17.6	27900.0	34.0	12.4	OSO
10/05/2003	31.1	12.3	23.1	0.0	39.0	10.0	20.8	27773.0	34.0	13.4	O
11/05/2003	31.9	12.6	23.7	0.0	41.0	7.0	20.5	28590.0	29.0	8.5	ENE
12/05/2003	30.9	15.4	22.5	0.0	58.0	10.0	31.7	27819.0	25.0	8.7	E

Tabla 3.2.1 Base de datos original del INIFAP

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL													
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	
2002	17.0582785	19.3940972	20.9658266	19.8070139	17.4530914	17.6744288	16.8783661	16.4899194	12.5892708	10.8588038	16.9069098		
2003	10.7835685	13.1635789	14.7603495	18.8437153	21.8770833	20.2888194	17.2578629	17.722715	17.0964236	15.0389785	14.3642708	9.67557123	15.9060781
2004	9.92617608	11.0608477	15.2298723	16.6211111	19.006082	17.8017361	17.8929099	17.8086358	16.4548611	16.4790323	13.2700347	10.4090726	15.1633643
2005	11.5782594	12.5959896	13.6124328	18.3964931	20.0056452	21.9760764	19.5092406	17.7567204	17.0538889	16.5428763	13.2987153	11.4115255	16.2081553
2006	11.1665995	13.5145833	15.8842742	20.0214583	19.7803763	19.6085069	18.5352486	17.2027218	16.8510417	15.424496	12.0557639	9.67039651	15.7929556
2007	11.028797	12.259506	15.6177755	17.199375	19.6844422	19.5632639	17.527957	17.7810484	17.1830208	15.0240591	12.6835417	12.6317204	15.6817089
2008	10.7402554	12.8385058	14.0691868	18.4962153	19.8017809	20.6016319	17.8353495	17.6778226	15.7342361	14.2761089	11.2710069	10.7999928	15.3451694
2009	11.6474305	13.2259673	15.736828	17.8046181	19.8861223	20.1161459	20.0974798	19.4386089	17.4884722	16.6856855	12.2383681	11.0799059	16.287136
2010	9.39405242	9.7828869	12.865793	16.8395833	20.7597446	20.9651042	18.1659274	19.438592	18.0283681	15.4311156	12.1934375	10.0562836	15.3265713
2011	10.9141667	13.3989583	17.1439236	20.1318819	21.5046908	21.2047527	19.1300504						17.6326321
CONTAR	9	9	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	10
MAX	11.6	13.5	17.1	20.1	21.9	22.0	20.1	19.4	18.0	16.7	14.4	12.6	17.6
MIN	9.4	9.8	12.9	16.6	19.0	17.8	17.2	15.7	14.3	11.3	9.7	8.5	15.2
MEDIA-DE	11.5	13.7	16.6	19.6	21.2	21.3	19.3	18.9	17.8	16.6	13.6	11.7	16.8
MEDIA	10.8	12.4	15.2	18.4	20.3	20.2	18.3	18.1	17.0	15.7	12.7	10.7	16.0
MEDIA-DE	10.1	11.2	13.8	17.1	19.4	19.1	17.4	17.3	16.3	14.8	11.8	9.8	15.3
DESVEST	0.7	1.2	1.4	1.3	0.9	1.1	1.0	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8
MEDIANA	10.9	12.8	15.4	18.4	19.9	20.2	18.0	17.8	17.1	15.4	12.6	10.8	15.8

Tabla 3.2.2 Base de datos después de crear y leer el archivo

Las gráficas que se generaron para este estudio son:

Gráfica de temperaturas extremas, promedio de temperaturas extremas y temperatura media; humedad relativa, temperatura media con precipitación y radiación solar. Estas gráficas se elaboraron para cada estación del INIFAP. Debido a no hacer muy extenso este documento, no se imprimieron todas estas gráficas, pero se incluyen todas en el archivo digital.

En la figura 3.2.1 se observa toda la variación en la temperatura que ha tenido esta estación durante el tiempo que ha estado en operación.

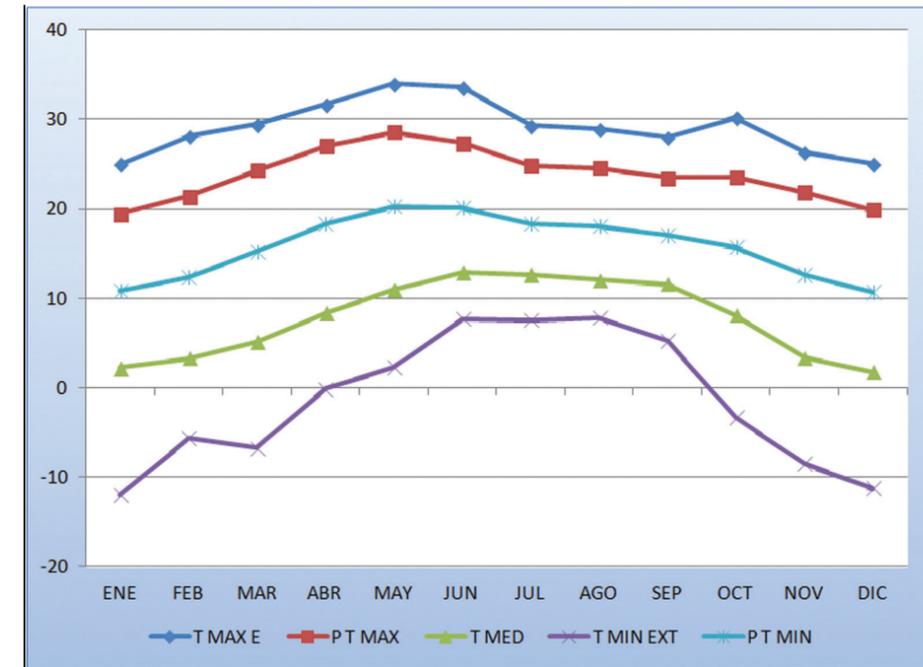


Figura 3.2.1 Temperaturas extremas, promedios de extremas y medias mensuales

Le sigue la figura 3.2.2 de temperatura y precipitación. Esta sola gráfica describe el clima de una región, ya que los elementos principales utilizados para determinar el clima son precisamente éstos, temperatura y precipitación. Se puede observar que la temporada de lluvias está comprendida durante los meses de junio a septiembre y que las máximas temperatura se presentan en los meses de mayo y junio, mientras que las más bajas temperaturas durante los meses de enero y diciembre.

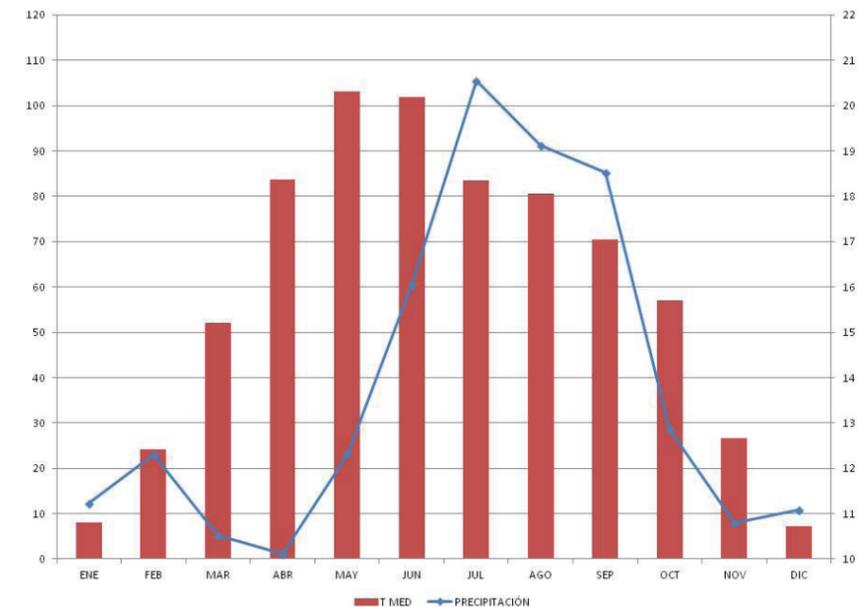


Figura 3.2.2 Temperatura y precipitación

La figura 3.2.3 muestra como se distribuye la humedad relativa durante el año en esta estación. Septiembre es el mes donde la humedad relativa es mayor, mientras que durante marzo y abril es menor.

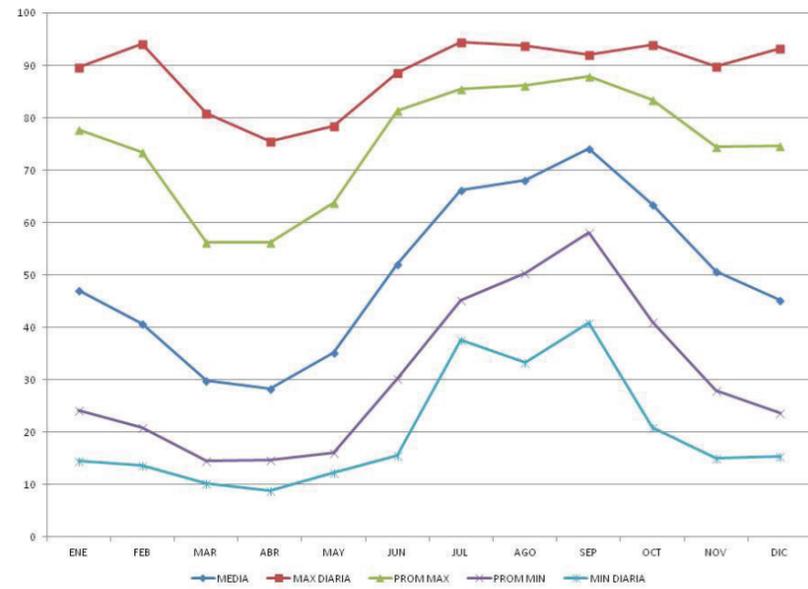


Figura 3.2.3 Humedad relativa media

Finalmente, se presenta la figura 3.2.4, la cual muestra la radiación solar. Las unidades están en W/m² y corresponden al promedio del acumulado mensual del área bajo la curva diaria durante el periodo histórico. Se puede observar que durante los meses de abril, mayo y junio la radiación solar es mayor.

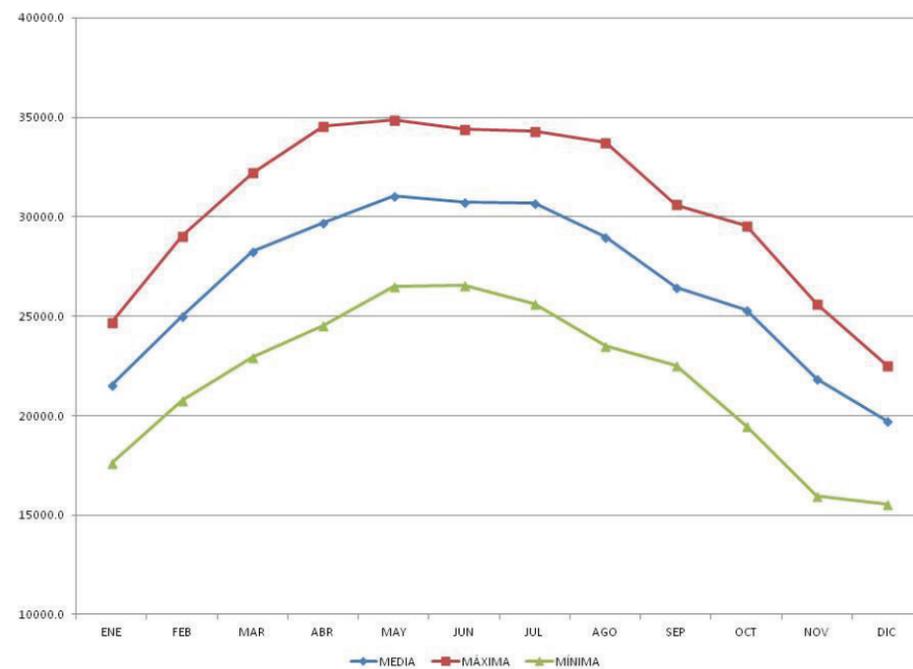


Figura 3.2.4 Radiación solar media

3.3 Cálculo de los Vientos

Este estudio resultó sumamente interesante, ya que se hizo en análisis de viento con un año seco y otro año húmedo y se pudo observar cómo el patrón del viento cambia y este cambio es determinado por los sistemas meteorológicos, lo que a su vez afecta la distribución de temperaturas y de precipitación.

Cuando se procesa el viento. Se debe de tomar en cuenta que el viento es un vector con sus propiedades, es decir: dirección, magnitud y sentido. La magnitud representa la velocidad y el sentido, el cual en meteorología corresponde a la dirección de donde viene el viento y no hacia dónde va. Debido a lo anterior, existen varios procedimientos para procesar el viento. En el presente trabajo se emplearon 3 procedimientos:

Análisis del viento por su resultante vectorial.

Análisis por su frecuencia por su dirección y de ahí con qué velocidad sopla de acuerdo con una dirección determinada.

Análisis por su velocidad, se utiliza para saber qué porcentaje de horas en el mes, el viento sopla con determinada velocidad.

Procedimiento:

Para determinar la frecuencia por donde sopla el viento, se contabiliza cada caso y se le asigna su velocidad con la que sopla, posteriormente se hace la suma final y de ahí a la elaboración de las gráficas, su frecuencia en horas y su velocidad promedio cuando sopla con determinada dirección.

Los resultados de este análisis son muy utilizados cuando se desea saber cómo se presenta el viento en una zona determinada, ya sea para la construcción de plantas de tratamiento de aguas negras, basureros municipales, etc.

Cuando se desea conocer la velocidad del viento, sin tomar en cuenta su dirección, como en el caso de granjas eólicas, se utiliza el procedimiento de determinar la frecuencia en el mes en que el viento sopla con determinada velocidad. Este procedimiento se realizó, debido a que en un punto siguiente de este proyecto se piensa realizar un estudio sobre energía alternas, para lo cual esta información es básica. Aquí, únicamente se contabiliza en una hoja de Excel, cada dato de velocidad del viento cuando sopla con determina velocidad y se hace la gráfica correspondiente, la cual en todos los casos presenta una distribución estadística de Weibull, como se puede observar en las figuras 3.2.3 y 3.2.6.

El Servicio Meteorológico Nacional estableció un criterio para obtener la resultante vectorial del viento, el cual consiste en transformar el viento que viene de acuerdo a la rosa de los vientos en coordenadas cartesianas, posteriormente con funciones trigonométricas de seno y coseno se obtienen sus componentes X y Y, a continuación se hace la suma de las componentes y finalmente se vuelve a transformar estas componentes X, Y de acuerdo a la rosa de los vientos. Este procedimiento se empleó para la elaboración de los mapas de corriente de vientos. Para su elaboración se obtuvieron resultados vectoriales mensuales, de ahí se pasó esta información al programa SURFER, el cual graficó los datos de cada estación en su ubicación correcta. El trazado de líneas de corriente se tuvo que realizar de manera manual, debido al costo que representa adquirir un programa informático que haga estos análisis.

El análisis de los mapas de viento se describirá en el capítulo dedicado a mapas climatológicos.

Para el cálculo del viento se creó un archivo en Excel, el cual realiza primeramente la descomposición del viento en sus componentes X, Y, tabla 3..1.

FECHA TIEMPO	DIA	MES	ABO	HORA	VEL. VIENTO	DIR. VIENTO	CIP. VIENTO	ENE	CART	RAD	SEM	COS	Y	X	
01/01/2003	00:00	1	1	2003	2.0	134.0	SSO	2	134SSO	250	4.46504209	-0.97029573	-0.2419219	-1.94055145	-0.48304370
01/01/2003	00:15	1	1	2003	2.0	135.0	SEE	3	135SEE	250	4.46504209	-0.97029573	-0.2419219	-1.94055145	-0.48304370
01/01/2003	00:30	1	1	2003	4.0	133.0	SE	4	133SE	250	4.60439569	-0.9999477	-0.1745241	-3.95939070	-0.05999093
01/01/2003	00:45	1	1	2003	2.0	132.0	SEE	5	132SEE	250	4.46504209	-0.97029573	-0.2419219	-1.94055145	-0.48304370
01/01/2003	01:00	1	1	2003	6.0	135.0	SEE	6	135SEE	250	5.14872120	-0.99930779	-0.42201326	-5.43764072	-2.35970957
01/01/2003	01:15	1	1	2003	6.0	135.0	SEE	6	135SEE	250	5.04148430	-0.99930779	-0.42201326	-5.43764072	-2.35970957
01/01/2003	01:30	1	1	2003	6.0	135.0	SEE	6	135SEE	250	4.97410237	-0.99930779	-0.42201326	-5.43764072	-2.35970957
01/01/2003	01:45	1	1	2003	6.0	137.0	SEE	6	137SEE	250	4.95520370	-0.97437006	-0.23495105	-7.75955406	-1.79960049
01/01/2003	02:00	1	1	2003	6.0	137.0	SEE	6	137SEE	250	4.95520370	-0.97437006	-0.23495105	-7.75955406	-1.79960049
01/01/2003	02:15	1	1	2003	6.0	137.0	SEE	6	137SEE	250	4.95520370	-0.97437006	-0.23495105	-7.75955406	-1.79960049
01/01/2003	02:30	1	1	2003	11.0	144.0	SEE	11	144SEE	250	4.99343466	-0.99120017	-0.27863706	-10.73237377	-3.03201051
01/01/2003	02:45	1	1	2003	11.0	144.0	SEE	11	144SEE	250	4.99343466	-0.99120017	-0.27863706	-10.73237377	-3.03201051
01/01/2003	03:00	1	1	2003	11.0	143.0	SEE	10	143SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	03:15	1	1	2003	11.0	143.0	SEE	10	143SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	03:30	1	1	2003	11.0	143.0	SEE	10	143SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	03:45	1	1	2003	11.0	143.0	SEE	10	143SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	04:00	1	1	2003	7.0	170.0	SEE	7	170SEE	250	4.72220211	-0.99756406	-0.09979617	-9.99294306	-0.88929452
01/01/2003	04:15	1	1	2003	7.0	170.0	SEE	7	170SEE	250	4.72220211	-0.99756406	-0.09979617	-9.99294306	-0.88929452
01/01/2003	04:30	1	1	2003	6.0	150.0	SEE	6	150SEE	250	4.71230990	-0.97437006	-0.23495105	-8.99294306	-0.88929452
01/01/2003	04:45	1	1	2003	6.0	150.0	SEE	6	150SEE	250	4.71230990	-0.97437006	-0.23495105	-8.99294306	-0.88929452
01/01/2003	05:00	1	1	2003	6.0	149.0	SEE	6	149SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	05:15	1	1	2003	6.0	149.0	SEE	6	149SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	05:30	1	1	2003	6.0	149.0	SEE	6	149SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054
01/01/2003	05:45	1	1	2003	11.0	170.0	SEE	11	170SEE	250	4.40549010	-0.97437006	-0.23495105	-9.74370005	-2.24951054

Tabla 3.3.1 Base de datos y cálculo de componentes X, Y

Igualmente se determina su dirección y se asocia con su velocidad, tabla 3.3.2.



Tabla 3.3.2 Velocidad del viento asociada a su dirección

Asimismo se contabiliza su velocidad, de manera mensual (blanco) y anual (verde), tabla 3.3.3.

Vel km/h	CASOS	MINUTOS	%	Vel km/h	CASOS	MINUTOS	%
CALMA	42	630	1.6%	CALMA	1142	17130	3.3%
0 a 10	633	9495	23.6%	0 a 10	14036	165690	37.5%
10 a 20	723	10845	26.9%	10 a 20	14326	169950	37.3%
20 a 30	431	6465	16.0%	30 a 40	8519	127785	28.6%
30 a 40	249	3735	9.3%	40 a 50	2856	42840	9.2%
40 a 50	231	3465	8.6%	50 a 60	1253	18795	4.2%
50 a 60	195	2925	7.3%	60 a 70	531	7965	1.5%
60 a 70	184	2760	6.9%	70 a 80	252	3780	0.7%
70 a 80	30	450	1.1%	80 a 90	74	1110	0.2%
80 a 90	11	165	0.4%	90 a 100	2	30	0.0%
90 a 100	6	90	0.2%	100 a 110	0	0	0.0%
100 a 110	3	45	0.1%	110 a 120	0	0	0.0%
110 a 120	0	0	0.0%	120 a 130	0	0	0.0%
120 a 130	0	0	0.0%	130 a 140	0	0	0.0%
130 a 140	0	0	0.0%	140 a 150	0	0	0.0%
140 a 150	0	0	0.0%	150 a 160	0	0	0.0%
150 a 160	0	0	0.0%	160 a 170	0	0	0.0%
160 a 170	0	0	0.0%	170 a 180	0	0	0.0%
170 a 180	0	0	0.0%	180 a 190	0	0	0.0%
180 a 190	0	0	0.0%	190 a 200	0	0	0.0%
190 a 200	0	0	0.0%	200 a 210	0	0	0.0%
200 a 210	0	0	0.0%	210 a 220	0	0	0.0%
210 a 220	0	0	0.0%	220 a 230	0	0	0.0%
220 a 230	0	0	0.0%	230 a 240	0	0	0.0%
230 a 240	0	0	0.0%	240 a 250	0	0	0.0%
240 a 250	0	0	0.0%	250 a 260	0	0	0.0%
250 a 260	0	0	0.0%	260 a 270	0	0	0.0%
260 a 270	0	0	0.0%	270 a 280	0	0	0.0%
270 a 280	0	0	0.0%	280 a 290	0	0	0.0%
280 a 290	0	0	0.0%	290 a 300	0	0	0.0%
290 a 300	0	0	0.0%	TOTAL	35040	525600	100.0%
300 a 310	0	0	0.0%				
310 a 320	0	0	0.0%				
320 a 330	0	0	0.0%				
330 a 340	0	0	0.0%				
340 a 350	0	0	0.0%				
350 a 360	0	0	0.0%				
360 a 370	0	0	0.0%				
370 a 380	0	0	0.0%				
380 a 390	0	0	0.0%				
390 a 400	0	0	0.0%				
400 a 410	0	0	0.0%				
410 a 420	0	0	0.0%				
420 a 430	0	0	0.0%				
430 a 440	0	0	0.0%				
440 a 450	0	0	0.0%				
450 a 460	0	0	0.0%				
460 a 470	0	0	0.0%				
470 a 480	0	0	0.0%				
480 a 490	0	0	0.0%				
490 a 500	0	0	0.0%				
TOTAL	2668	40320	100.0%				

Tabla 3.3.3 Frecuencia de la velocidad del viento mensual y anual

Al mismo tiempo se obtienen el número de casos con que sopla en determinada dirección, así como su velocidad asociada a esa dirección. La tabla 3.3.4 muestra el resumen mensual.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
SUMA	1025	964	968	794	964	1742	1211	2167	2332	3074	2718	1374	1137	725	319	478
CASOS	144	134	143	120	145	302	189	341	390	302	212	106	96	77	46	66
TIEMPO	36	33.5	35.75	30	36.25	75.5	47.25	85.25	97.5	75.5	53	26.5	24	19.25	11.5	16.5
VEL	7.1	6.4	6.8	6.6	6.6	5.8	6.4	6.4	6.0	10.2	12.8	13.0	11.8	9.4	6.9	7.2
CALMA	5	1	1	9	6	3	8	7	13	5	10	7	2	1	4	4
%	5.0	4.6	4.9	4.1	5.0	10.4	6.5	11.8	13.5	10.4	7.3	3.7	3.3	2.7	1.6	2.3
2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899	2899
HORAS	36	33.5	35.75	30	36.25	75.5	47.25	85.25	97.5	75.5	53	26.5	24	19.25	11.5	16.5

Tabla 3.3.4 Frecuencia del viento mensual

En la tabla 3.3.5 se observa el resumen anual del viento por frecuencia.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
SUMA	9458.0	9207.0	13070.0	18281.0	31150.0	35239.0	22129.0	18692.0	36941.0	31118.0	31118.0	16037.0	11504.0	7498.0	6167.0	7145.0
CASOS	1229.0	1223.0	1503.0	1911.0	2879.0	3656.0	2784.0	2626.0	4412.0	3496.0	2493.0	1397.0	1119.0	799.0	747.0	955.0
TIEMPO	307.25	305.75	375.75	477.75	719.75	914	696	656.5	1103	874	623.25	349.25	279.75	199.75	186.75	238.75
VEL	7.7	7.5	8.7	9.6	10.8	9.6	7.9	7.1	8.3	11.3	12.5	11.5	10.3	9.4	8.3	7.5
CALMA	62.0	48.0	48.0	50.0	55.0	68.0	78.0	82.0	83.0	56.0	66.0	61.0	64.0	46.0	48.0	43.0
%	3.6	3.6	4.4	5.6	8.4	10.7	8.1	7.7	12.9	10.2	7.3	4.1	3.3	2.3	2.2	2.8
34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187	34187
HORAS	307.25	305.75	375.75	477.75	719.75	914	696	656.5	1103	874	623.25	349.25	279.75	199.75	186.75	238.75

Tabla 3.3.5 Frecuencia del viento anual

En la tabla 3.3.6 se observa el resumen mensual del viento. Aquí se muestra primero la suma vectorial de todos los vientos por medio de sus componentes X, Y. Posteriormente se obtiene el promedio de acuerdo al número de casos. A continuación se hace la conversión de la dirección del viento de radianes a grados y finalmente se convierte el vector final de ejes cartesianos a la rosa de los vientos, obteniendo el vector final, que representa el viento promedio final. En la tabla 3.3.7 se presenta el resumen anual de la resultante final del viento mensual.

Una vez que ya se tiene toda la información procesada, se elaboran las gráficas correspondientes a la frecuencia del viento de acuerdo a su dirección, figura 3.3.1. Asimismo se elabora la gráfica de la velocidad del viento asociada a la dirección de donde proviene, figura 3.3.2 y finalmente la gráfica de la frecuencia de la velocidad del viento, figura 3.2.3. A continuación se muestran las mismas gráficas, pero mostrando los resúmenes anuales, figura 3.3.4, figura 3.3.5 y figura 3.3.6.

-7429.53051	-632.403058
-2.49648203	-0.21250103
-1.65571183	
-94.8652999	265.1347
DIR	VEL
185	2.5

Tabla 3.3.6 Resultante vectorial del viento mensual

	DIR	VEL
ENE	136	2.7
FEB	212	9.2
MAR	219	7.6
ABR	227	5.4
MAY	137	2.4
JUN	107	3.9
JUL	119	3.7
AGO	91	4.1
SEP	95	3.3
OCT	107	2.6
NOV	161	2.9
DIC	157	2.4

Tabla 3.3.7 Resumen de la resultante vectorial del viento mensual

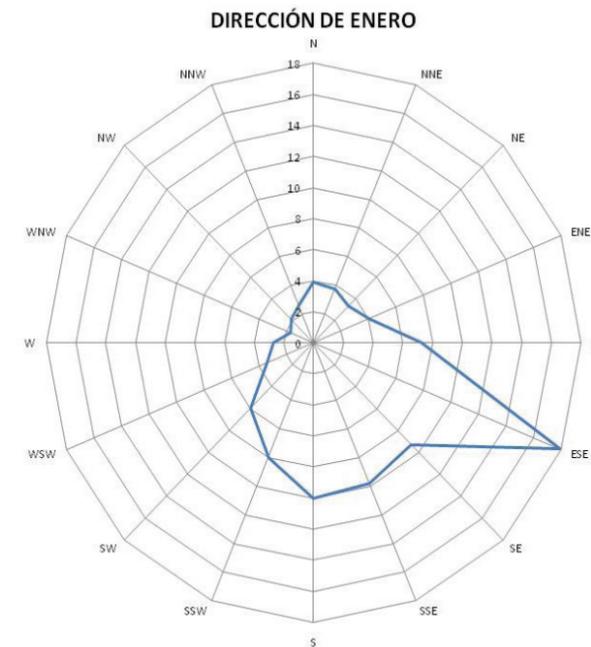


Figura 3.3.1 Gráfica mensual de la frecuencia de la dirección del viento en %

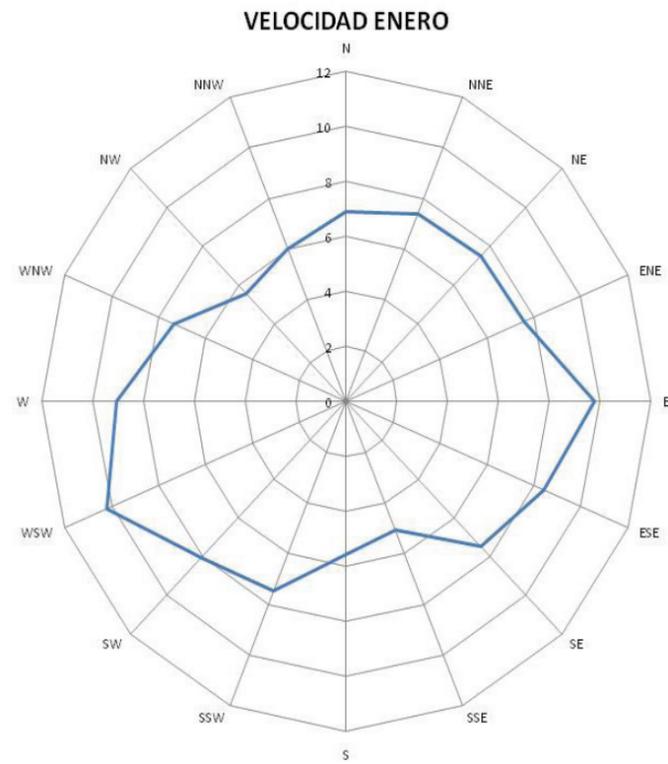


Figura 3.3.2 Gráfica mensual de la velocidad del viento asociada a su dirección en Km/h

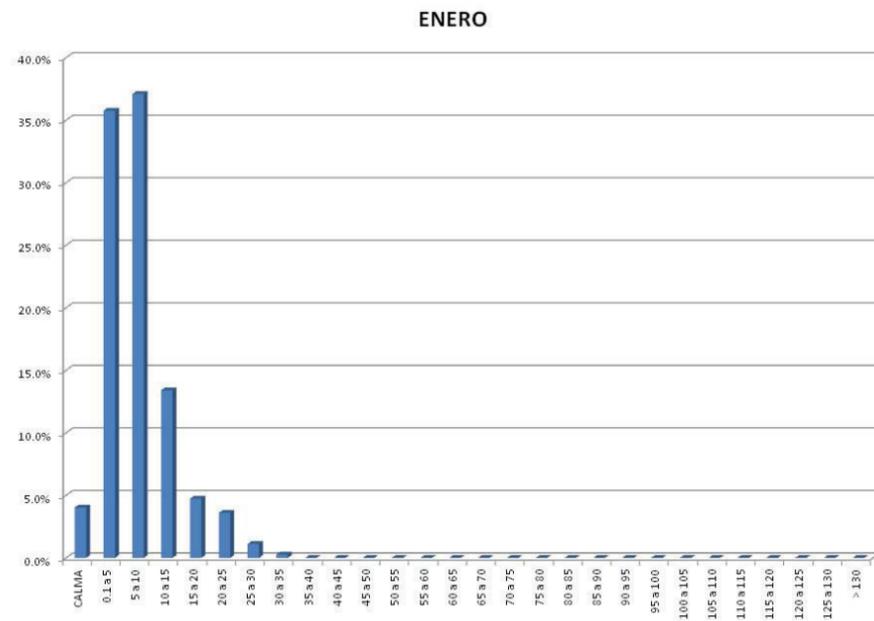


Figura 3.3.3 Gráfica mensual de la frecuencia en % de la velocidad del viento en Km/h2

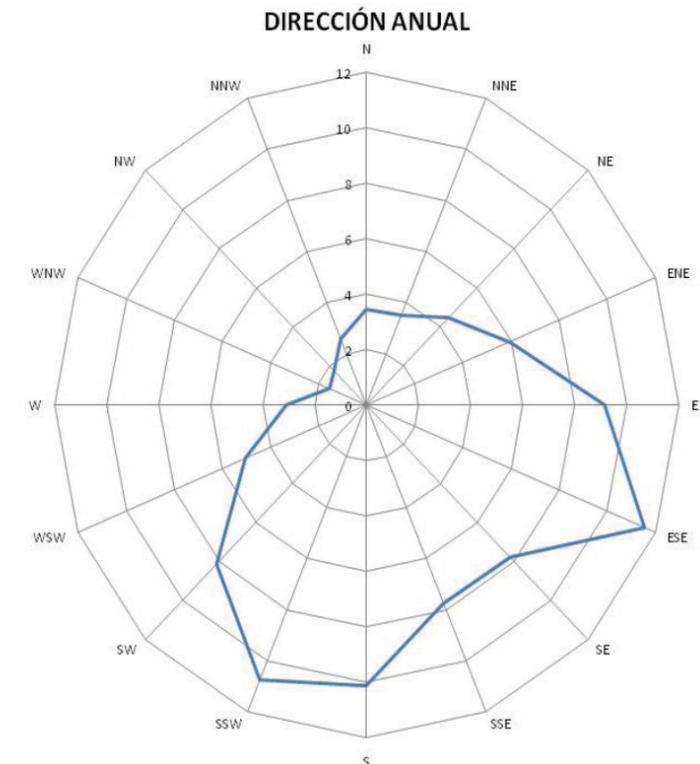


Figura 3.3.4 Frecuencia de la dirección del viento en %

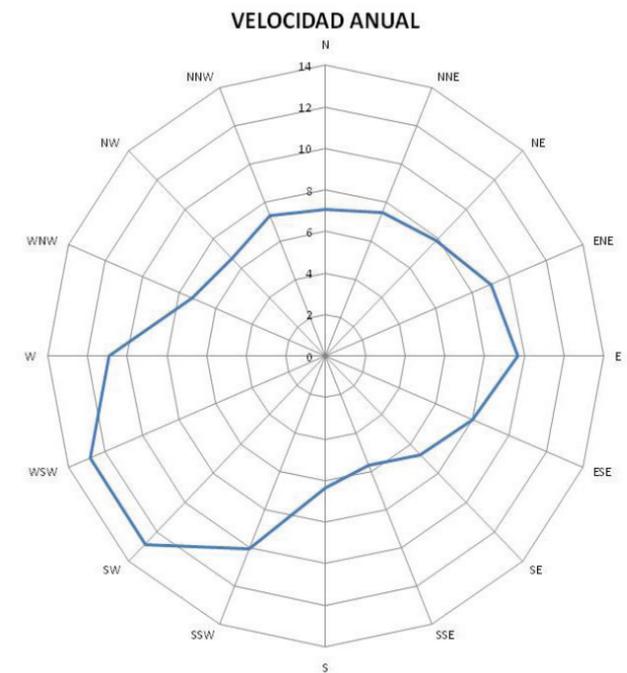


Figura 3.3.5 Frecuencia anual de la dirección del viento en Km/h

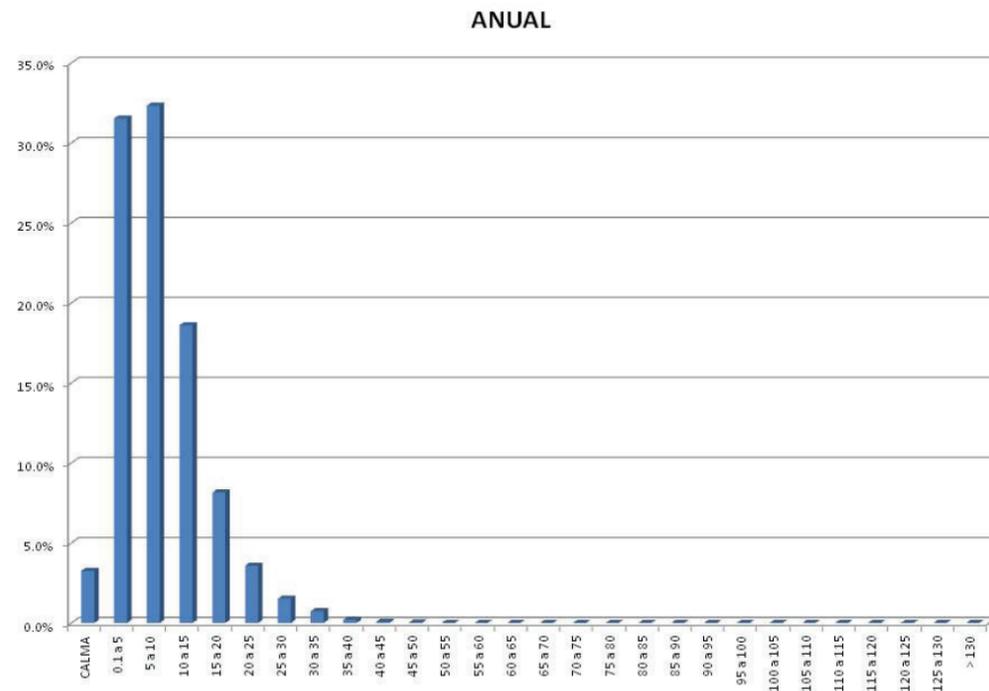


Figura 3.3.6 Frecuencia anual en % de la velocidad del viento en Km/h

3.4 TENSIÓN DEL VAPOR DE AGUA

Cómo variable experimental se calculó la tensión del vapor de agua a partir de los datos mensuales de humedad relativa y de temperatura. Lo anterior para determinar el campo de tensión del vapor. La principal ventaja de analizar esta variable radica en que, a diferencia de la humedad relativa, no depende de la temperatura, sino de la cantidad real de vapor de agua que proviene de los océanos a territorio zacatecano, por esta razón resulta importante emplear esta variable para su estudio.

Se calculó a partir de la fórmula siguiente⁵:

$$E = (1.3521 + (0.016369 \times ta) + (0.000031794 \times ta^2) - (0.00000014892 \times ta^3))^6$$

Donde E es la tensión máxima de saturación del vapor de agua en hpa.

ta es la temperatura ambiente en grados centígrados.

Con esta fórmula se obtienen resultados similares a los obtenidos por la fórmula siguiente, a veces conocida por la fórmula de Magnus⁶:

$$\log p = - \frac{2937.4}{T} - (4.9283 \times \log T) + 23.547$$

Donde:

P es la tensión máxima de saturación del vapor de agua en hpa.

5 Fórmula empleada por el SMN en todos los observatorios del país

6 Termodinámica de la atmósfera, J. V. Iribarne y W. L. Godson

T es la temperatura en Kelvin

Posteriormente se aplican la fórmula siguiente⁷:

$$hr = \frac{e}{E} \times 100 \quad \text{donde} \quad e = \frac{hr \times E}{100}$$

Donde:

E es la tensión máxima de saturación del vapor de agua en hpa.

e es la tensión del vapor de agua en hpa.

hr es la humedad relativa en tanto por ciento.

Despejando e obtenemos la tensión del vapor en hpa

Para determinar su grado de exactitud, se aplicó esta fórmula con datos reales del Observatorio de Sombrerete y se obtuvo el siguiente error medio, aunque es necesario agregar que los datos del observatorio no cumplen con todas las observaciones a lo largo de las 24 horas del día durante el periodo de análisis, debido a falta de personal durante varios años, por lo que no es posible calificar de manera confiable en un 100%; sin embargo el error medio que se obtuvo es satisfactorio y se muestra en las siguientes tablas 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3:

TENSIÓN DE VAPOR OBSERVADA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED ANUAL
1981													
1982													
1983	8.1	7.0	7.2	7.0	13.0	14.0	14.0	15.1	15.0	13.0	10.0	8.0	11.0
1984	8.2	6.0	5.2	5.0	8.0	12.0	13.2	13.0	12.6	10.0	7.6	7.9	9.1
1985	7.0	7.4	9.1	9.0	11.0	12.5	13.0	13.6	13.2	11.7	8.7	8.0	10.4
1986	6.6	7.0	6.5	8.9	10.7	13.0	13.3	13.6	14.1	12.2	9.1	9.0	10.3
1987	5.7	5.8	5.0	6.1	7.5	11.8	14.2	14.0	13.8	10.7	8.3	8.8	9.3
1988	6.7	8.7	8.4	9.5	10.5	14.4	15.2	14.6	13.2	10.4	8.5	8.4	10.7
1989	7.5	7.1	5.9	7.3	8.6	9.3	11.6	13.2	12.0	9.4	7.0	6.4	8.8
1990	6.9	6.3	6.1	5.6	8.2	10.8	13.1	12.9	12.9	10.6	7.3	6.2	8.9
1991	5.5	6.0	5.0	5.3	6.9	10.2	13.5	11.4	12.6	9.2	7.0	8.4	8.4
1992	7.3	5.8	5.9	6.4	8.1	9.8	11.4	11.8	10.9	9.5	7.5	8.3	8.6
1993	6.6	4.6	4.2	4.7	6.5	11.1	13.4	11.0	12.9	9.4	8.1	6.9	8.3
1994	5.3	5.1	4.9	4.9	7.2	11.3	11.1	12.6	12.4	9.6	8.6	7.7	8.4
1995	5.2	6.7	5.2	5.1	8.3	11.0	12.6	14.4	13.5	8.5	8.6	6.9	8.8
1996	5.9	6.9	5.9	6.4	9.5	12.5	12.0	13.3	13.3	10.6	7.5	7.0	9.2
1997	6.0	6.7	7.8	8.2	9.6	12.3	12.9	13.0	12.9	10.4	8.4	5.5	9.5
1998	5.5	4.9	5.3	5.4	6.0	12.2	12.3	13.7	13.5	11.9	8.3	6.5	8.8
1999	5.1	5.8	6.8	7.5	8.2	12.7	12.1	12.7	12.6	9.5	6.4	6.2	8.8
2000	5.7	6.3	7.2	9.6	12.4	14.0	13.4	13.2	12.9	11.4	9.8	7.8	10.3
2001	8.1	8.1	7.6	11.5	12.5	13.9	15.0	15.0	14.3	11.8	9.5	8.9	11.4
2002	8.5	8.9	10.3	13.0	14.0	15.2	15.4	15.5	15.0	13.9	10.8	9.4	12.5
2003	9.4	9.8	10.2	13.0	15.2	16.1	15.5	15.6	16.0	13.5	12.1	8.8	12.9
2004	9.3	8.9	11.5	12.1	15.0	16.0	16.4	16.5	16.0	13.8	9.7	8.7	12.8
2005	8.9	9.5	8.2	8.9	10.0	12.8	14.7	14.7	13.8	12.3	8.9	7.1	10.8
2006	6.7	7.5	7.5	8.6	9.8	12.1	13.1	13.8	14.2	12.6	8.5	7.3	10.1
2007	7.4	7.1	6.9	8.8	9.3	12.4	13.2	15.0	12.4	9.8	8.1	6.8	9.8
2008	6.1	5.3	5.8	7.0	8.6	12.3	12.8	14.4	14.2	10.9	7.7	7.1	9.4
2009	7.1	6.8	7.1	6.5	9.7	12.9	13.2	12.1	13.9	11.8	8.5	7.4	9.8
2010	6.3	6.7	5.7	7.4	9.0	13.3	15.0	14.6	14.9	9.9	7.4	6.9	9.8

Tabla 3.4.1 Valores observados reales de tensión del vapor de agua en hPa

5 Problemas de Meteorología I. Estática y termodinámica de la atmósfera, Carlos García-Legaz Martínez y Federico Castejón de la Cuesta

TENSIÓN DE VAPOR CALCULADA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	D ANU
1981													
1982													
1983	7.8	7.0	7.2	7.1	13.0	14.4	14.6	15.1	15.2	13.3	10.2	7.7	11.1
1984	7.7	6.2	5.4	5.4	8.7	12.8	19.0	13.1	12.9	11.0	8.0	9.7	10.0
1985	7.2	7.7	9.1	9.4	11.7	13.3	13.4	14.1	13.5	11.9	8.9	7.9	10.7
1986	6.8	6.7	7.2	9.4	10.6	13.4	13.8	13.8	14.5	13.4	9.1	7.5	10.5
1987	6.2	6.5	5.8	6.5	7.7	12.7	14.7	15.4	14.1	11.0	8.1	9.1	9.8
1988	7.0	8.8	8.6	9.8	10.8	15.1	15.7	15.4	13.9	10.6	8.8	8.9	11.1
1989	8.0	7.7	6.2	4.9	8.4	9.6	12.2	13.7	12.0	9.9	7.4	6.6	8.9
1990	7.1	6.6	6.5	6.1	9.2	11.5	12.4	15.2	13.7	11.0	7.8	6.6	9.5
1991	5.7	6.5	5.5	5.4	7.4	10.6	13.5	10.8	12.9	9.8	7.5	8.5	8.7
1992	7.6	6.4	6.2	7.1	8.9	10.9	12.5	12.4	11.5	9.9	9.1	9.9	9.4
1993	7.2	5.2	4.7	5.2	7.6	12.0	12.9	12.4	13.3	8.7	8.9	7.4	8.8
1994	6.8	4.5	5.9	5.3	7.5	12.1	12.0	10.9	11.6	10.4	8.4	8.6	8.7
1995	5.4	7.0	5.5	5.3	8.6	11.4	13.1	14.6	13.7	8.7	8.9	7.2	9.1
1996	4.2	7.3	6.1	6.8	9.8	13.3	12.7	14.3	13.6	11.0	7.6	7.0	9.5
1997	5.9	6.7	8.9	8.4	9.7	11.9	12.6	12.6	12.7	9.4	7.8	4.8	9.3
1998	5.4	4.9	5.1	5.3	5.9	12.6	13.8	13.4	13.3	11.6	8.5	6.5	8.9
1999	7.2	5.8	6.6	7.1	7.8	12.6	11.9	12.3	12.3	9.0	6.3	6.1	8.7
2000	5.5	6.3	8.7	9.1	11.6	13.7	13.0	12.9	12.6	10.9	9.2	7.6	10.1
2001	7.6	7.9	7.0	10.7	11.9	13.2	14.5	14.5	13.8	11.2	9.0	8.3	10.8
2002	8.0	8.6	9.7	12.0	13.3	14.7	15.2	15.1	14.3	13.2	9.8	8.6	11.9
2003	8.8	9.2	9.3	12.0	14.1	14.9	14.8	14.8	15.7	12.7	10.9	7.9	12.1
2004	9.8	8.9	10.4	11.0	13.6	15.0	15.3	14.5	15.2	12.8	9.1	8.0	12.0
2005	8.2	9.0	7.5	7.4	8.5	11.7	13.7	13.4	12.3	11.3	8.0	6.6	9.8
2006	6.2	6.7	6.9	7.9	8.8	11.9	12.5	13.1	13.3	11.7	7.7	6.6	9.5
2007	7.1	6.6	6.3	7.9	8.8	11.9	12.7	12.8	11.8	7.0	7.5	6.0	8.9
2008	5.5	5.0	5.3	7.0	8.3	12.2	12.6	13.8	14.0	10.2	7.7	9.7	9.3
2009	7.0	7.2	7.0	6.1	10.1	13.2	12.9	12.4	13.7	11.6	8.5	9.9	10.0
2010	6.3	6.8	5.5	7.4	8.8	13.3	15.2	14.1	14.4	9.0	7.4	6.7	9.6

Tabla 3.4.2 Valores de tensión del vapor de agua obtenidos por la fórmula en hPa

ERROR MEDIO DE LA TENSIÓN DE VAPOR DE AGUA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED ANUAL
1981													
1982													
1983	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
1984	0.3	0.0	0.0	0.1	0.5	0.7	33.4	0.0	0.1	0.9	0.2	3.2	0.9
1985	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5	0.7	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
1986	0.1	0.1	0.5	0.2	0.0	0.1	0.3	0.0	0.2	1.4	0.0	2.2	0.0
1987	0.2	0.5	0.7	0.2	0.0	0.8	0.2	1.9	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
1988	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.2	0.6	0.5	0.0	0.1	0.2	0.2
1989	0.2	0.4	0.1	5.7	0.1	0.1	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0
1990	0.0	0.1	0.2	0.3	0.9	0.5	0.4	5.4	0.6	0.2	0.3	0.1	0.3
1991	0.1	0.2	0.3	0.0	0.3	0.2	0.0	0.4	0.1	0.4	0.2	0.0	0.1
1992	0.1	0.3	0.1	0.5	0.7	1.2	1.3	0.4	0.3	0.1	2.5	2.6	0.7
1993	0.3	0.4	0.2	0.3	1.2	0.7	0.2	1.9	0.1	0.4	0.7	0.2	0.3
1994	2.1	0.4	1.0	0.2	0.1	0.6	0.8	2.7	0.7	0.6	0.1	0.7	0.1
1995	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
1996	2.7	0.2	0.0	0.1	0.1	0.7	0.5	1.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1
1997	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	1.0	0.3	0.4	0.0
1998	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	2.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
1999	4.4	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.0	2.2	0.2	0.6	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.0
2001	0.3	0.0	0.4	0.7	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
2002	0.2	0.1	0.4	1.0	0.4	0.2	0.0	0.2	0.4	0.4	0.9	0.6	0.4
2003	0.4	0.3	0.9	0.9	1.2	1.5	0.5	0.6	0.1	0.6	1.5	0.8	0.7
2004	0.3	0.0	1.2	1.1	1.9	0.9	1.2	3.8	0.7	1.0	0.4	0.6	0.7
2005	0.5	0.2	0.5	2.4	2.3	1.2	1.0	1.7	2.2	1.1	0.7	0.2	1.0
2006	0.3	0.7	0.4	0.4	0.9	0.1	0.3	0.4	0.8	0.7	0.7	0.5	0.5
2007	0.1	0.2	0.3	0.7	0.3	0.3	0.3	4.7	0.3	8.1	0.4	0.7	0.8
2008	0.3	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	6.7	0.0
2009	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	6.3	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0
SUMA	13.2	4.6	11.1	15.6	13.1	12.3	44.7	27.8	8.3	20.1	10.0	27.0	7.5
ERROR MED	0.7	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	1.2	1.0	0.5	0.8	0.6	1.0	0.5

Tabla 3.4.3 Error medio de la tensión del vapor de agua en hPa

Capítulo IV

Estación meteorológica de Ciencias de la Tierra, UAZ

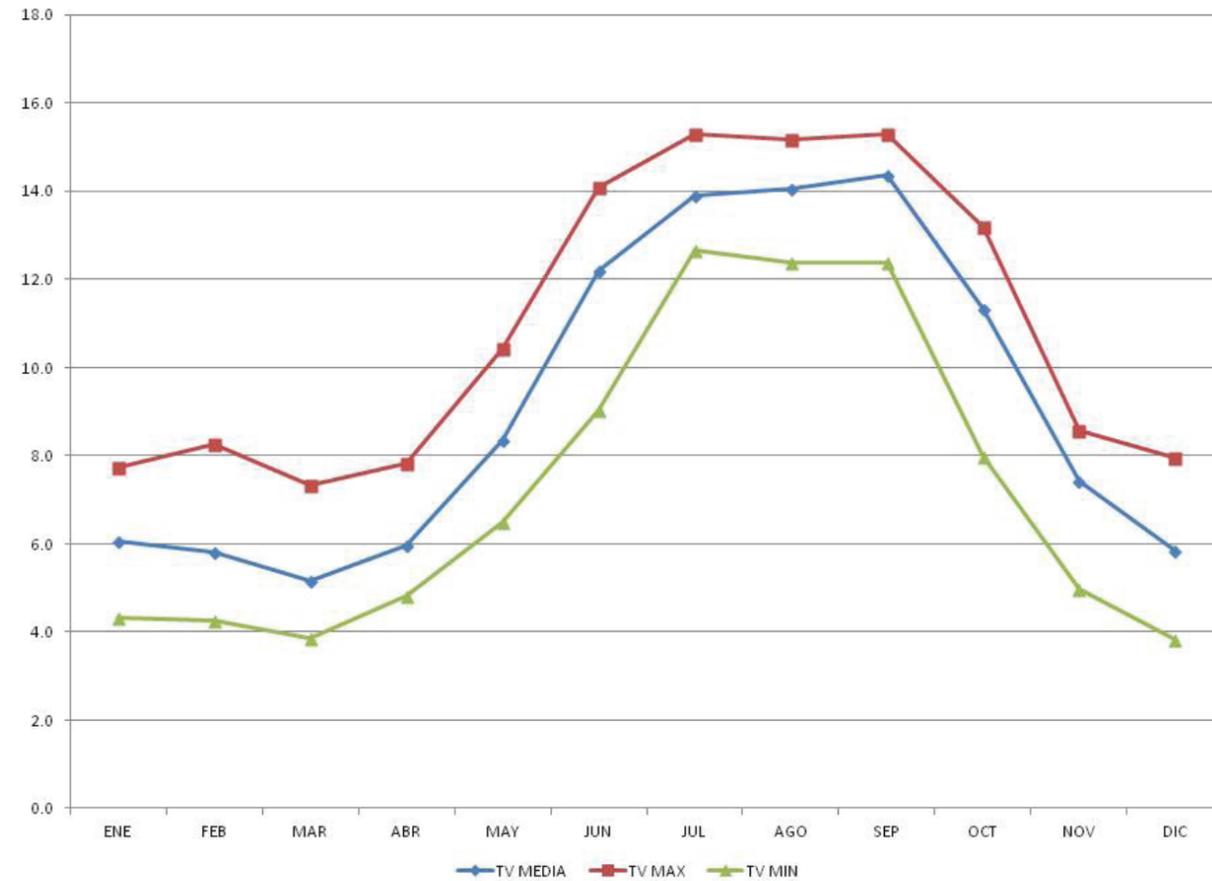


Figura 3.4.1 Tensión del vapor de agua calculada en hPa

La figura 3.4.1 muestra la distribución mensual de la tensión del vapor.

Una vez terminado el cálculo, se procede a vaciar estos datos en una hoja de Excel para que el programa SURFER pueda hacer el análisis del trazado de las isolíneas de tensión del vapor. Los mapas mensuales y el anual se presentan en el capítulo de mapas.



La estación meteorológica de Ciencias de la Tierra de la UAZ, aunque mide bastantes variables meteorológicas tiene poco historial, motivo por el cual prácticamente no incluimos su información aquí; empero, ya que ninguna otra dependencia pública mide la radiación ultravioleta, incluimos aquí esta información, ya que esta información es solicitada por el IEMAZ, aunque únicamente se cuenta con 2 años de información y no son suficientes para hacer un estudio de clima; sin embargo, se incluye esta información para complementar el trabajo.

En la página de Ciencias de la tierra se puede consultar esta información y es:

<http://ctierra.reduaz.mx/clima>

El formato que se obtiene es el siguiente, tabla 4.1. Se puede descargar como archivo Excel y en él se observa el índice ultravioleta. La desventaja es que no se pueden diferenciar los diferentes tipos de frecuencias ultravioletas, A, B y C. La estación envía la radiación ultravioleta total.

Resumen Mensual del Índice de Radiación Ultravioleta												
Radiación UV		nov-10										
DÍA	MEDIA	MÁXIMA	...MINUTOS...									
			0	>0<=2	>2<=4	>4<=6	>6<=8	>8<=10	>10<=12	>12<=14	>14<=16	>16
1	2	8	875	145	110	110	185	15				
2	2	8	875	155	110	115	185					
3	2	8	855	165	120	115	185					
4	2	8	855	165	115	115	190					
5	2	8	850	170	120	110	190					
6	2	7	865	165	120	115	175					
7	2	7	860	170	120	115	175					
8	2	8	875	155	120	120	170					
9	2	8	875	165	115	145	140					
10	2	8	870	175	115	135	145					
11	2	8	870	165	110	110	185					
12	2	8	890	145	105	105	195					
13	2	8	875	155	110	100	195	5				
14	2	8	870	155	110	100	150	55				
15	2	8	870	165	100	110	195					
16	2	8	870	160	115	105	190					
17	2	8	880	160	110	115	175					
18	1	7	875	180	130	155	100					
19	1	6	890	225	110	130	85					
20	1	7	890	165	125	140	120					
21	1	7	885	165	125	135	130					
22	1	7	885	170	125	150	110					
23	1	6	895	165	140	205	35					
24	1	6	900	175	130	225	10					
25	1	7	900	185	160	115	80					
26	1	7	895	165	125	160	95					
27	1	7	880	170	135	140	115					
28	1	7	890	165	120	145	120					
29	1	7	885	170	125	140	120					
30	1	7	890	165	125	145	115					

Tabla 4.1 Datos mensuales de radiación UV

En la tabla 4.2 se puede observar los niveles del índice UV, su potencia, tiempo de exposición y riesgo⁸.

Indice	Potencia [μ W/cm ²]	Tiempo Máximo de Exposición [Minutos]		Riesgo
1	2,78	150 - 240	270 - 360	Bajo
2	5,57	75 - 120	135 - 180	Bajo
3	8,35	50 - 80	90 - 120	Bajo
4	11,1	37 - 60	67 - 90	Bajo
5	13,92	30 - 48	54 - 72	Medio
6	16,7	25 - 40	45 - 60	Medio
7	19,5	21 - 34	38 - 51	Alto
8	22,2	19 - 30	34 - 45	Alto
9	25	17 - 27	30 - 40	Alto
10	27,8	15 - 24	27 - 36	Peligroso
11	30,5	14 - 22	25 - 33	Peligroso
12	33,3	12 - 20	22 - 30	Peligroso
13	36,1	11 - 18	21 - 28	Peligroso
14	38,9	11 - 17	20 - 26	Peligroso
15	41,7	10 - 16	18 - 24	Peligroso

Tabla 4.2 Índice UV

En los anexos digitales se encontrará toda la información existente mensual de esta variable.

La estación mide y almacena en una computadora y en el servidor las siguientes variables cada 5 minutos: Temperaturas máxima, media y mínima; temperatura de punto de rocío, humedad relativa, tensión del vapor de agua, presión de la estación, presión reducida al nivel medio del mar, evapotranspiración, radiación solar, dirección y velocidad del viento, sensación térmica, índice de calor y precipitación.

Aquí es necesario indicar que a partir de datos observados, se obtienen otras variables que se obtienen por medio de fórmulas. Los datos calculados son: temperatura de punto de rocío, tensión del vapor de agua, tensión máxima del vapor de agua, sensación térmica, índice de calor, presión reducida al nivel medio del mar y evapotranspiración.

⁸ INDICE ULTRAVIOLETA, Luis Vallejo Delgado, Departamento de Física, Universidad de Antofagasta, Año 2003

Capítulo V

Tendencias climatológicas y
elaboración de mapas



5.1 Elaboración de tendencias

En este capítulo se describirá el procedimiento para la elaboración de tendencias, las cuales se emplearon para generar los mapas que ayudarán a describir cómo se ha presentado la variación del clima en el estado durante el periodo de elaboración de las normales climatológicas.

Aquí es necesario aclarar que el presente trabajo debe ser ampliado. La sugerencia es que se haga un equipo de trabajo para que se estudien todas las variables y su comportamiento y se apliquen diversas pruebas estadísticas. Debido a la limitación del tiempo para su elaboración, únicamente se pudieron realizar estas pruebas.

Como ya se había mencionado previamente, únicamente las estaciones de CONAGUA que cumplan con los 30 años de historial serán utilizadas para hacer las normales climatológicas y de ahí las tendencias durante este periodo, a esta lista se agregan los 2 observatorios meteorológicos.

La tabla 5.1.1 muestra como se genera el archivo Excel de tendencias. De esta tabla se seleccionan los datos por columnas mes por mes, también el anual y se grafican.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1981	13.8	17.3	18.6	22.0	23.4	24.9	22.3	22.6	21.9	21.3	19.2	16.3	20.28
1982	17.1	17.9	20.9	23.9	24.4	26.4	22.3	22.1	22.5	20.4	17.3	14.1	20.78
1983	13.5	14.3	17.2	20.5	24.2	24.6	21.6	21.3	21.6	20.8	17.8	16.8	19.52
1984	15.5	16.0	19.3	21.8	22.8	23.0	20.3	20.6	20.4	20.3	18.2	17.1	19.61
1985	14.7	17.5	20.4	20.7	24.9	22.5	20.9	21.8	21.8	20.9	18.1	16.5	20.06
1986	15.9	17.2	18.2	23.4	24.4	22.6	20.8	21.8	21.6		19.0	15.9	20.07
1987	14.6	15.2	17.5	20.7	22.1	24.7	22.3	22.1	22.3	20.2	18.9	18.2	19.90
1988	16.2	19.7	19.7	23.0	26.0	25.5	22.8	23.0	22.6	21.4	20.4	18.4	21.55
1989	18.4	19.5	20.3	23.7	26.4	27.0	24.6	22.8	22.3	22.1	20.0	15.6	21.91
1990	17.8	17.0	21.0	23.7	26.6	26.3	22.5	22.0	21.6	21.3	19.5	17.6	21.41
1991	17.1	18.9	21.8	24.4	26.1	25.7	21.2	22.5	21.4	20.7	18.9	17.4	21.33
1992	14.4	16.2	20.0	20.7	23.5	26.4	23.7	22.9	23.2	20.7	17.4	18.3	20.62
1993	17.1	18.2	19.7	22.3	24.1	25.9	22.8	23.9	22.4	21.9	20.2	18.2	21.39
1994	17.1	19.7	21.7	23.0	26.6	24.5	24.1	22.3	22.1	21.9	20.9	19.0	21.92
1995	16.9	19.6	21.2	22.6	26.4	26.0	22.9	22.8	22.6	21.3	20.2	16.8	21.61
1996	17.3	19.7	20.0	22.4	26.7	25.1	24.0	23.3	22.1	20.6	18.4	18.0	21.46
1997	15.8	18.3	20.1	20.0	23.6	25.7	24.5	24.5	24.1	21.4	19.8	16.4	21.18
1998	16.6	16.6	20.9	24.0	27.1	27.7	24.8	24.0	23.1	22.3	21.0	19.0	22.26
1999	16.7	20.4	21.3	24.4	25.2	25.8	22.6	23.6	23.1	21.9	18.4	16.1	21.63
2000	17.7	19.5	21.2	24.3	25.8	23.7	23.4	23.4	23.8	22.7	19.9	17.6	21.93
2001	17.6	20.3	19.6	25.3	25.4	24.5	23.5	23.5	22.6	21.4	18.5	17.8	21.67
2002	17.0	18.1	22.1	25.6	27.2	25.8	23.2	23.2	22.9	21.9	18.7	16.6	21.84
2003	17.2	19.6	21.1	24.9	27.6	25.6	22.4	22.4	22.8	21.3	20.6	16.8	21.86
2004	16.2	17.1	21.8	22.4	25.5	23.3	22.8	22.9	22.5	22.3	19.2	17.2	21.09
2005	17.8	18.6	19.7	24.3	25.4	27.2	24.7	22.7	23.1	22.2	20.0	17.8	21.96
2006	17.5	20.3	22.0	25.4	25.6	25.2	24.4	22.6	22.1	21.6	18.9	16.7	21.86
2007	17.0	18.7	22.2	23.4	25.5	25.0	22.5	22.9	22.9	22.0	19.8	18.9	21.73
2008	17.2	19.5	20.7	24.1	25.6	26.0	22.7	22.5	22.4	21.0	18.4	17.8	21.49
2009	18.8	20.2	22.0	23.6	25.4	26.1	24.9	25.3	23.6	22.6	18.9	16.9	22.37
2010	16.1	15.8	19.2	22.4	25.9	26.3	23.4	24.2	23.9	21.2	19.0	16.8	21.17

Tabla 5.1.1 Datos ordenados para generar normales y tendencias

Una vez graficados los datos en columnas para cada mes, como se observa en la figura 5.1.1, se agrega la línea de tendencia que en todos los casos se aplicó una tendencia lineal. En la figura 5.1.2 se observa la tendencia anual, que como ya se había dicho con anterioridad corresponde al valor medio. Hay que hacer notar que los valores mensuales en muchas ocasiones proporcionan información muy importante.

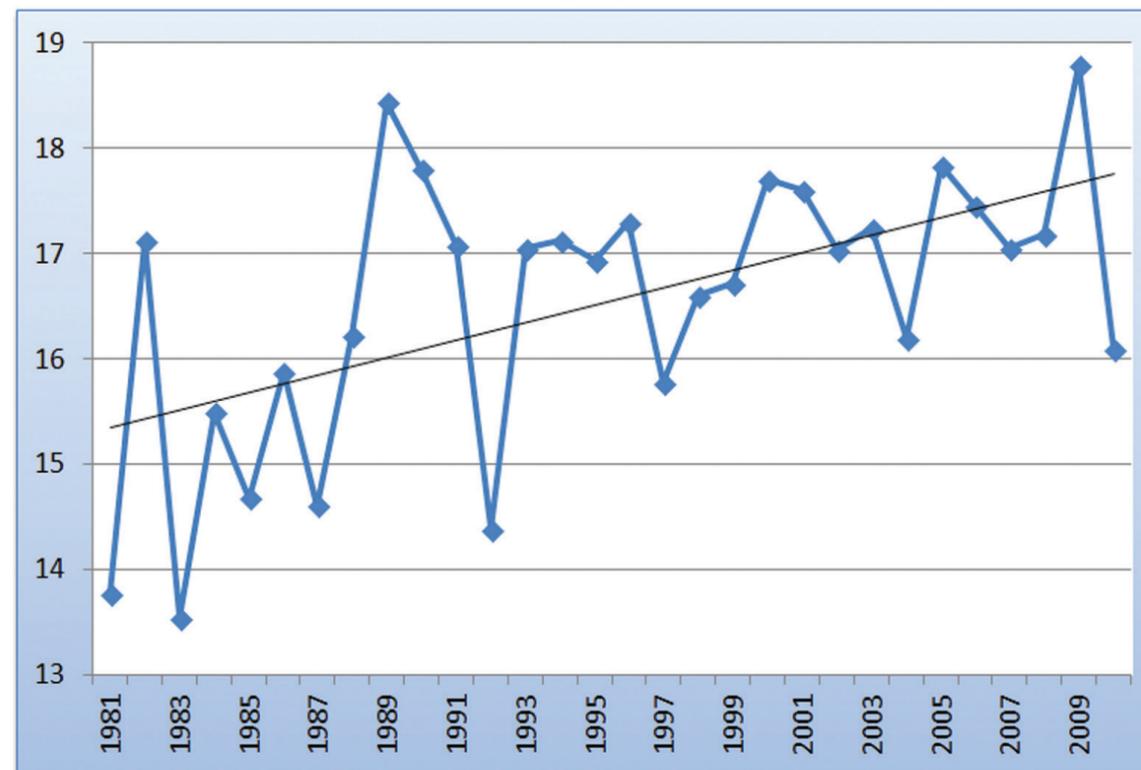


Figura 5.1.1 Tendencia de enero de temperatura media

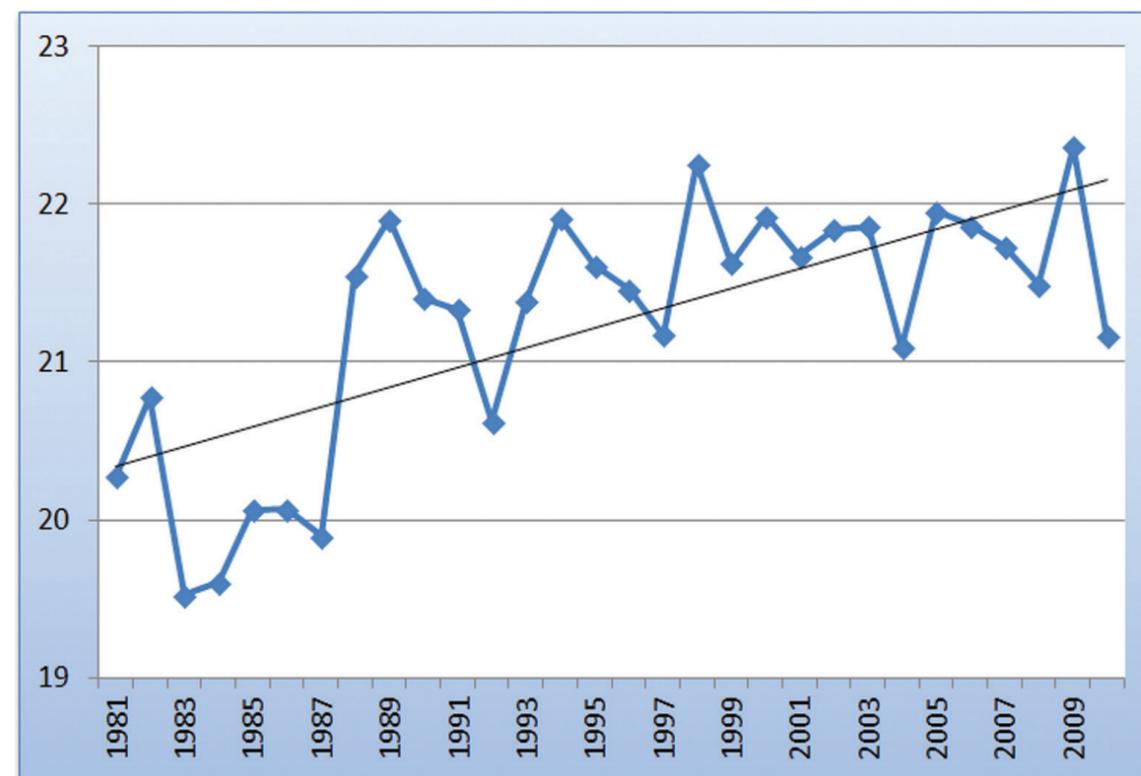


Figura 5.1.2 Tendencia anual de temperatura media

Una vez graficada la línea de tendencia se determina su valor inicial y final a lo largo de la recta y se copia este valor en el archivo de tendencias, tabla 5.1.2, posteriormente el programa Surfer hace el análisis con esta información.

Estación	Municipio	LONG_X	LAT_Y	ALT_Z	ENE 81-10	FEB 81-10	MAR 81-10	ABR 81-10	MAY 81-10	JUN 81-10	JUL 81-10	AGO 81-10	SEP 81-10	OCT 81-10	NOV 81-10	DIC 81-10	ANUAL	Promedio
Acafite de Arriba Las Animas	Valparaíso	-103.838806	22.4905278	1947														
Adiuntas del Refugio	Valparaíso	-103.411275	22.6235833	1952	-8.1	25	1	-1	10	84	15	46	39	13	-5	-8	49	17.575
Agua Nueva	Villa de Cos	-102.160361	23.7832778	1946	-12	12	3.1	-7	-9	91	46	37	110	-26	-5	-3	174	19.7583333
Ameca El Viejo	Valparaíso	-104.008583	22.919	1800	-69	18	-0.5	2.5	4.5	22.5	-8.5	7	68	-9.5	-17.5	-37	-120	-10.7307692
Apool	Apool	-103.088528	21.4616667	1954														
Atolinga	Atolinga	-103.459111	21.8113889	2145														
Calera Wilfap	Calera	-102.659444	22.9096944	2192	-8.2	27	-0.09	-10.9	-7	33	-13	31	8	-26	6.1	-8	12	2.4925
Camacho	Mazapil	-102.375639	24.4458611	1665	-15	12.5	1.6	-2	-0.9	52	-30	14	38	-8	-11.3	-18	34	2.74166667
Campo 6 La Honda Miguel Auza	Miguel Auza	-103.488583	24.0957778	2191														
Canitas de Felipe Pescador	Calitas de Felipe Pescador	-102.733972	23.60225	2046	-17	19	1.3	-11.5	-15	8	-20	11	43	-11	-15.3	-10.3	5	-1.5
Caopas	Mazapil	-102.174861	24.7817222	1986	-25	25	1.1	7.5	-14	25	-70	-2	60	-3	-27	-11.5	-10	-2.825
Cedros	Mazapil	-101.773139	24.6744444	1781														
Chalchihuites	Chalchihuites	-103.878861	23.4719722	2313	-32	9	1	-5	-13	0	53	37	-2	-7	-13	-27	-50	-1.58333333
Chichimequillas	Fresnillo	-102.574806	23.2414444	2072	-32	30.2	1.5	-3.7	-6.4	8.9	-15.6	31.6	34.4	-16.1	-9.3	-12.1	5	1.01666667
Col. González Ortega	Sombrerete	-105.4475	23.9567222	2195	-1	13	2.4	-5	-18	40	34	-25	43	3	-17	-20	25	4.11666667
Concepción de la Norma	Mazapil	-101.960028	23.8433889	2011														
Concepción del Oro	Concepción del Oro	-101.388306	24.6212778	1981														
Corrales	Sombrerete	-103.648806	23.2315556	2256	-30.5	20	-0.8	1.1	11.5	16	2.8	13.5	39	20	-15	-17.5	-9.5	5.00833333
Cueva Grande	Valparaíso	-103.357528	22.6626111	2043	-52	31.8	3.3	1	8.1	80	71	99.5	106	17	-0.2	-13.8	167	29.3083333
EC Pn. Sta Rosa	Fresnillo	-103.112861	23.9258333	2236	-35	14	2	-2	-4	16	-35	38	26	-10	-13	-23	-40	-2.16666667
Ejido San Rafael	Mazapil	-102.110889	24.55	2034	-12	19	8	5	65	76	83	98	23	5	-5	-5	425	30.8333333
El Arenal	Sombrerete	-103.4475	23.64975	2219	-15	16	-1	-4	-8	50	-45	-29	67	6	0.4	-9.8	5.6	2.3

Tabla 5.1.2 Formato del archivo donde se almacenan todos los datos de tendencias.

Previamente se ha elegido un mapa adecuado, de preferencia con división municipal con el objeto de determinar cuáles son los municipios más afectados por determinadas condiciones climatológicas. Figura 5.1.3.

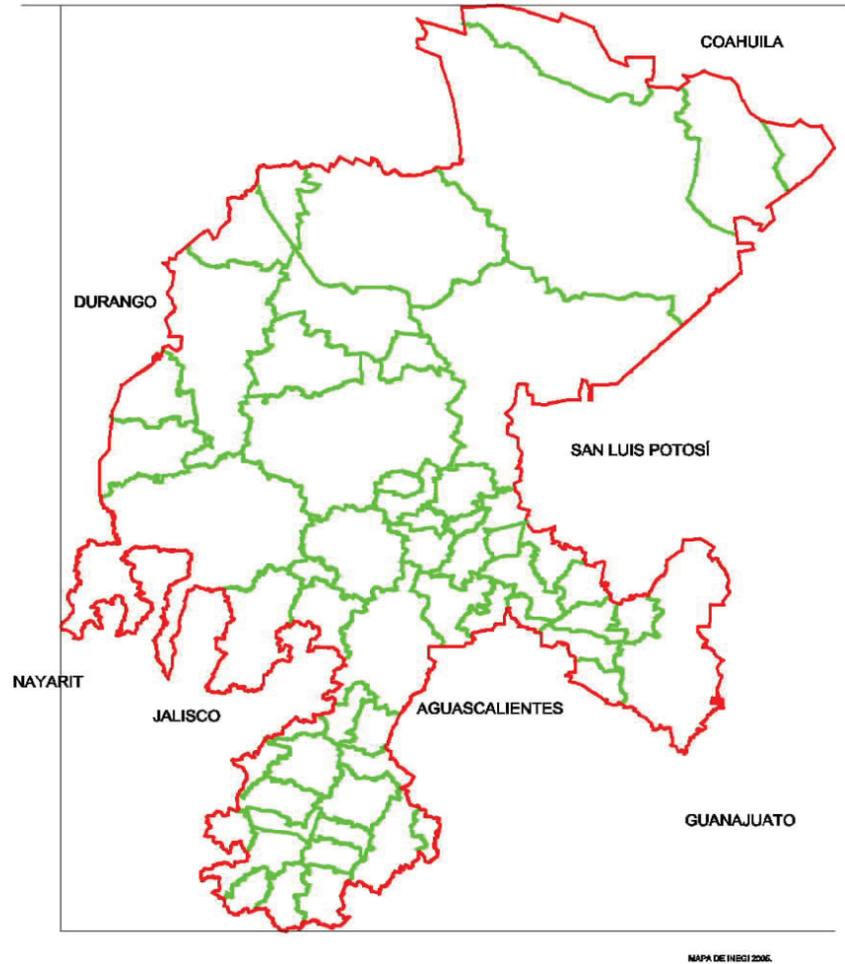


Figura 5.1.3. Zacatecas con división municipal.

El objetivo de hacer los mapas es ver si existe un patrón en cuanto al comportamiento del clima y no un dato aislado. Por ejemplo, si se tiene una estación con una tendencia importante, el paso siguiente sería determinar qué extensión tiene esa región y con el mapa se pueden visualizar las áreas de interés con una tendencia determinada. Mediante este método se puede comprobar si los datos que se obtienen por medio de las tendencias muestran congruencia con las estaciones que le rodean. Se hicieron mapas de tendencias para temperaturas medias, máximas y mínimas, así como de precipitación mensual, los cuales se pueden observar en el anexo digital.

A continuación se presentará un mapa de cada variable para su explicación; asimismo se muestran los mapas más significativos que permiten determinar qué está pasando con el clima en Zacatecas. La figura 5.1.4 muestra el mapa correspondiente a la radiación solar, expresada en w/m^2 , que muestra el acumulado medio anual. Las isolíneas están cortadas debido a la falta de estaciones que midan la radiación solar; sin embargo, el mapa nos permite observar que las regiones con isolíneas que tengan valores superiores a 23, son las mejores regiones en el estado para la generación de energía solar.

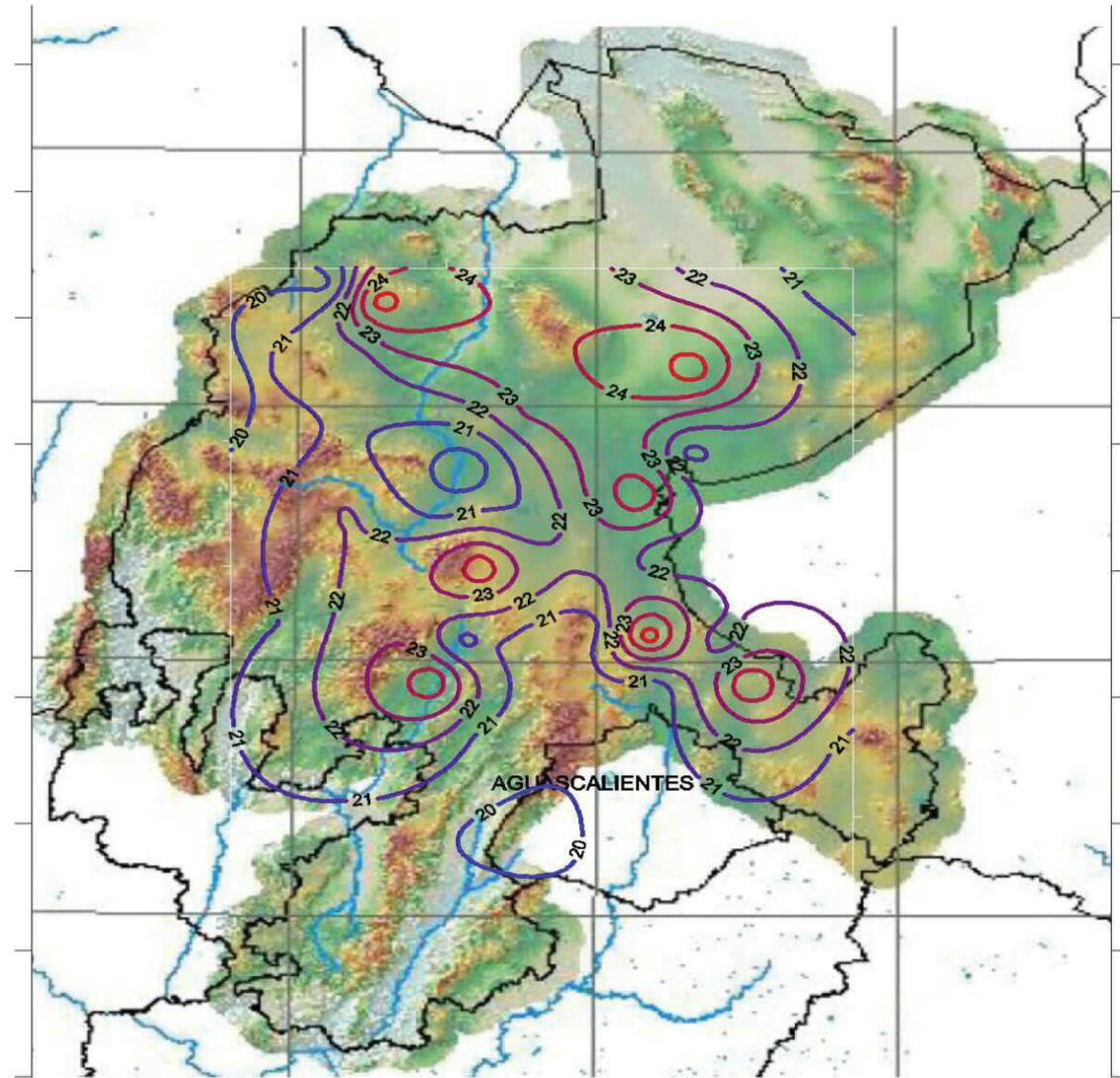


Figura 5.1.4 Radiación solar media anual

En la figura 5.1.5 se puede observar el mapa de humedad relativa media anual. En él se puede observar las regiones que son más húmedas en el estado, aunque como se mencionó con anterioridad, la humedad relativa se ve influenciada por la temperatura. Con el crecimiento de las ciudades se origina un aumento de temperatura, este aumento en la temperatura ocasiona una disminución en la humedad relativa.

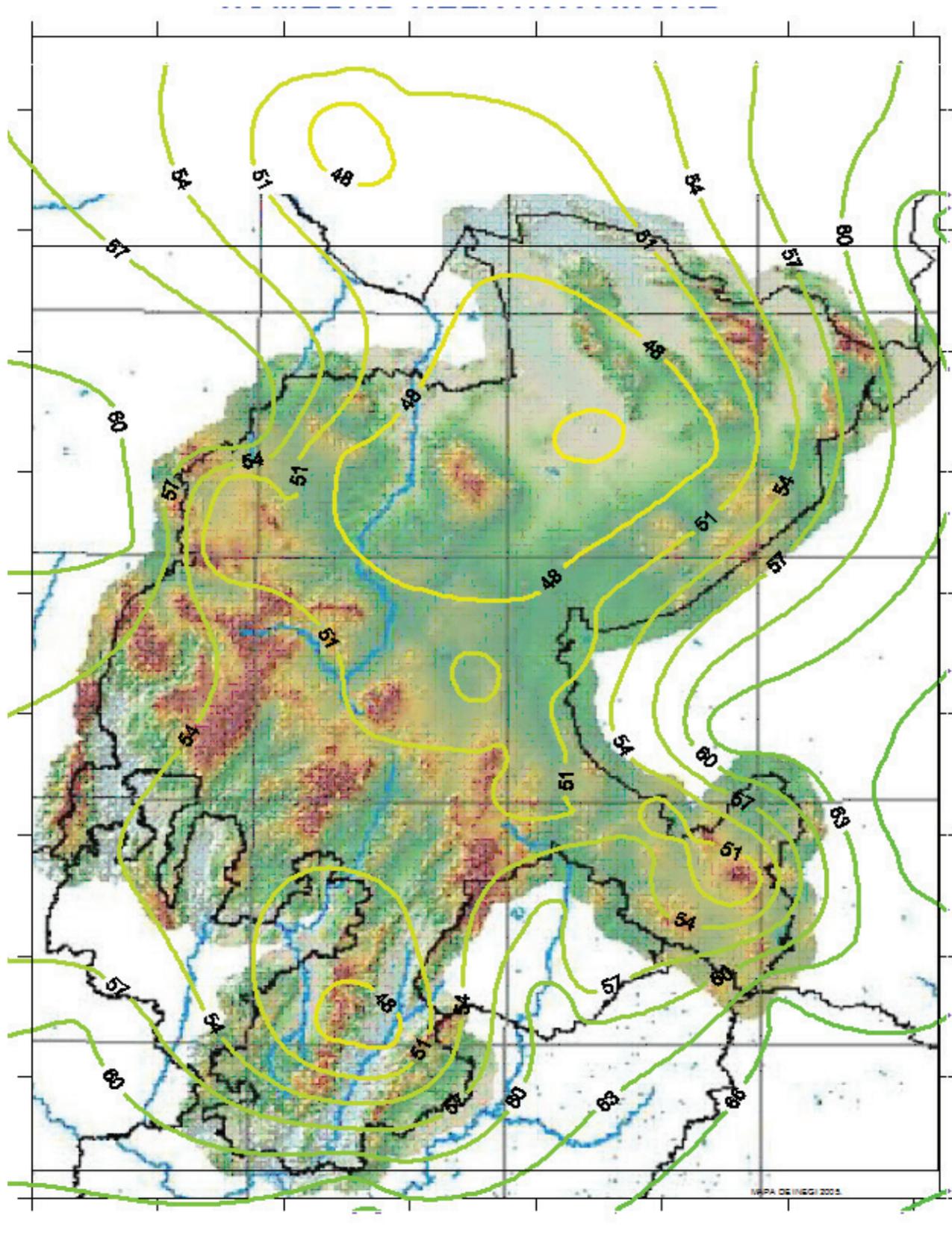


Figura 5.1.5 Humedad relativa media anual

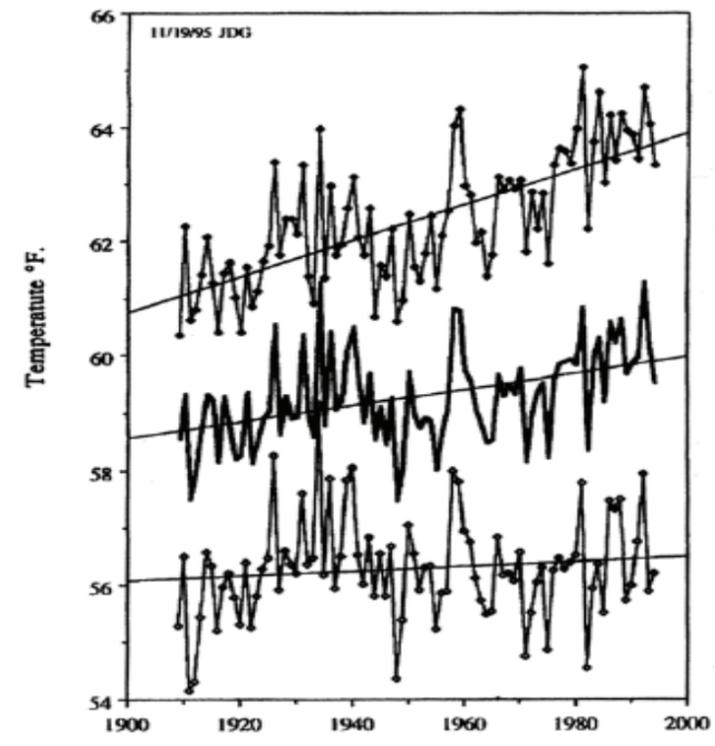


Figura 5.1.6 Aumento en la temperatura ocasionada por el crecimiento de la población.

Con el crecimiento de las ciudades se origina un aumento de temperatura. La figura 5.1.6⁹ muestra la tendencia de 107 estaciones en el estado de California, Estados Unidos para el periodo de 1909 a 1994. La curva superior muestra el promedio de 29 estaciones de más de un millón de habitantes. La curva central presenta el promedio de 51 estaciones en ciudades que tienen un tamaño medio entre 100,000 a 1,000,000 de habitantes. En la curva inferior se observa la tendencia de la temperatura en 27 estaciones localizadas en pequeños poblados menores a 100,000 habitantes. Como se puede observar, las ciudades grandes mostraron una tendencia de aproximadamente un incremento en la temperatura de 1.8° C. la curva intermedia un incremento de 0.8, mientras que las ciudades pequeñas únicamente 0.3° C durante este periodo de 85 años. Con el aumento de la temperatu-

ra y al mantenerse constante la cantidad de vapor de agua que llega a una región, la humedad relativa disminuye. En la ciudad de México, a principios de 1970 se inició un marcado descenso en la humedad relativa y esto ha sido ocasionado por el efecto de la isla de calor generado por un aumento importante en la población, lo cual ocasiona un cambio de uso del suelo, cambio importante en el albedo, lo que ocasiona que igualmente las temperatura aumente y una disminución de áreas verdes en la ciudad¹⁰.

El efecto de isla de calor es muy variable, ya que hay muchos factores que alteran el albedo y la temperatura, como son: la distribución y cobertura de áreas verdes, tipo de construcciones, si son rascacielos o casas pequeñas; tipo de pavimento, número de vehículos automotores, número de habitantes, etc, entre las principales, los cuales también se ven modificados por la orografía regional. Todos estos factores modificarán el clima de manera local.

La ciudad de Zacatecas no cuenta con la información adecuada para hacer un estudio aceptable sobre la isla de calor. El observatorio de La Bufa es la única fuente de información climatológica disponible, pero la orografía de

la ciudad complica mucho el análisis, ya que la ciudad se encuentra dentro un valle, mientras que el observatorio está en la parte alta de la ladera de una montaña. La estación climatológica de CONAGUA ubicada en la ciudad de Zacatecas, erróneamente se ubicó a 1.5 m sobre la azotea de una casa, por lo que esta información carece de validez, por no cumplir con los requerimientos básicos para su operación y no deberá tomarse en cuenta.

Lamentablemente, debido a lo anterior, se requerirán varias décadas para hacer un estudio confiable de isla de calor en la ciudad de Zacatecas.

La figura 5.1.7 muestra le tensión del vapor media anual en el estado. Como ya se había mencionado con anterioridad, este mapa se obtuvo por la obtención de la tensión de vapor de agua por medio del dato de humedad relativa que reportan las estaciones automáticas del INIFAP. También se agregaron los datos de los dos observatorios del estado.

9 Goodridge, J.D. (1996) Comments on "Regional simulations of greenhouse warning including natural variability". Bull. Am. Met. Soc., vol. 77 n° 7, 1588-1589.

10 El clima en la ciudad de México Ernesto Jáuregui CCA/UNAM

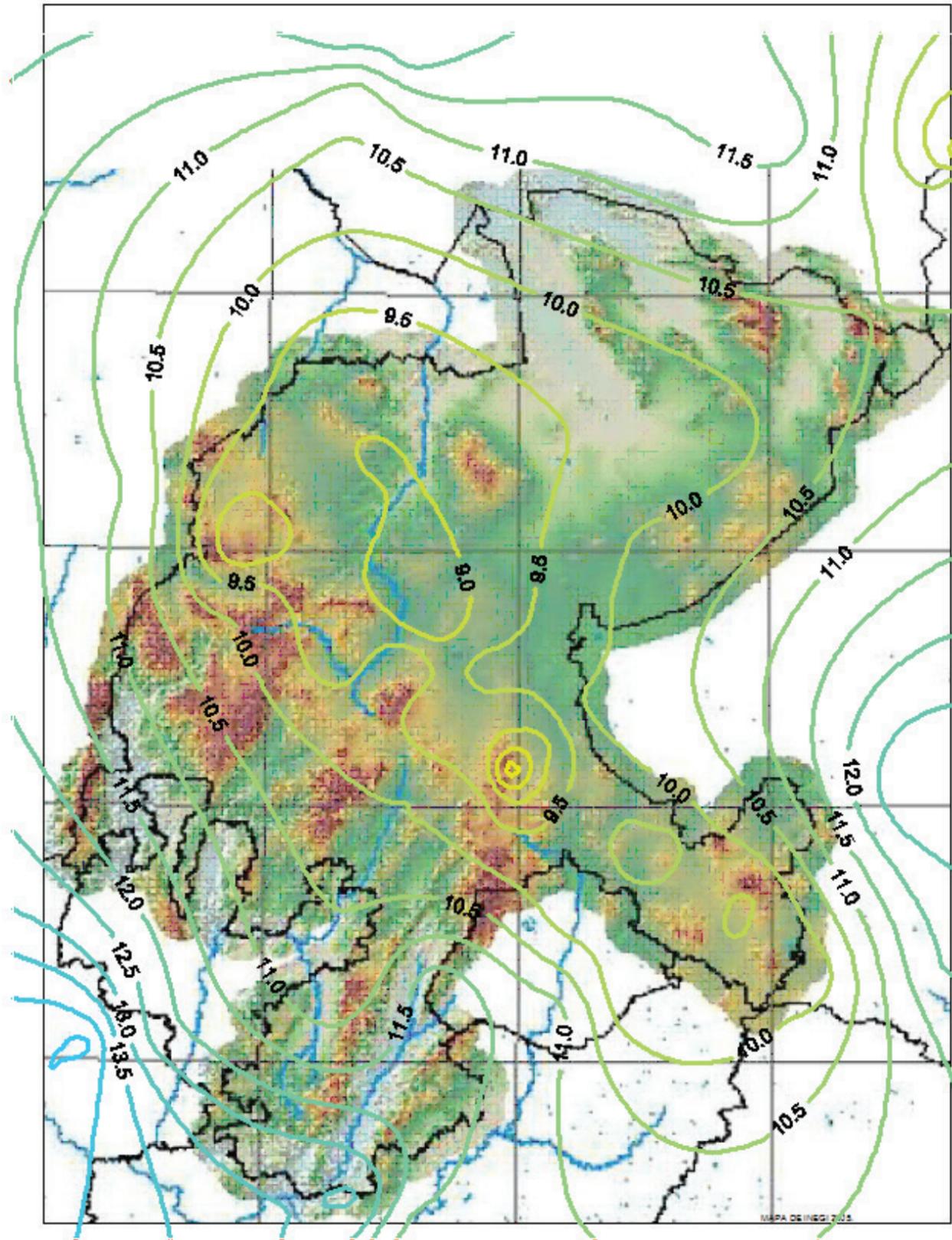


Figura 5.1.7 Tensión de vapor de agua medio anual

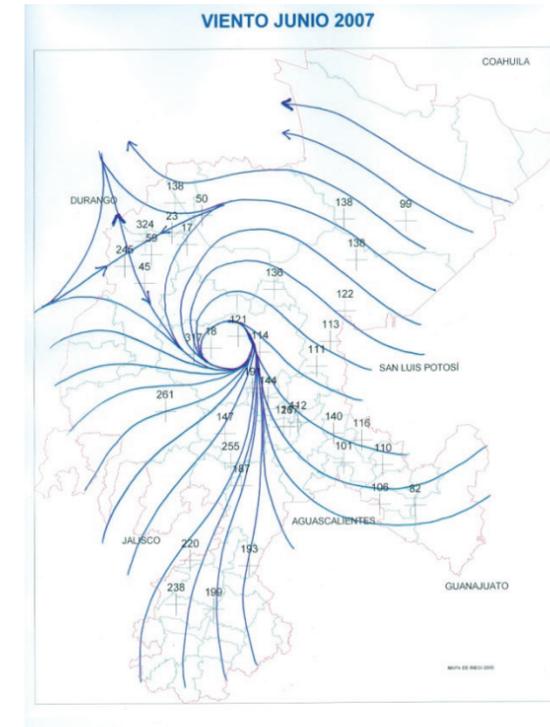


Figura 5.2.1 Viento de junio con lluvias abundantes

A continuación se muestra lo que se había mencionado acerca de los mapas de viento y porqué se realizaron. Estos mapas muestran claramente los sistemas meteorológicos de escala sinóptica que se han observado que afectan a estado durante el año. Para no saturar este trabajo con demasiada información se escogieron 2 meses,

junio y marzo, en condiciones de lluvias abundantes y en condiciones de precipitaciones escasas, dentro del periodo con información disponible, para comprobar si existe un cambio en la circulación que permita identificar ambas situaciones.

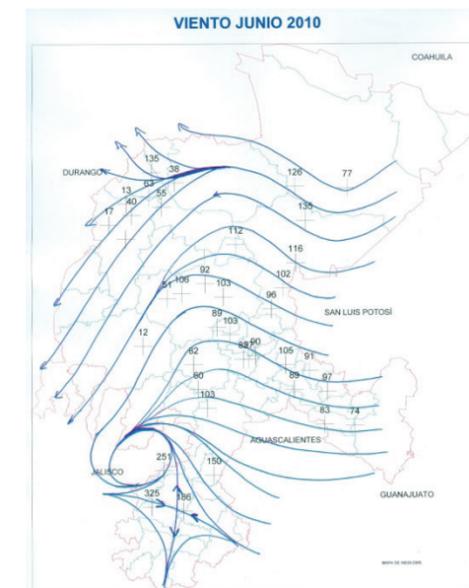


Figura 5.2.2 Viento de junio con lluvias escasas

Los resultados fueron satisfactorios, ya que se identificó un sistema de baja presión (figura 5.2.1), que durante los meses de la temporada de lluvias se ubica al suroeste u oeste de la entidad y que debido a su posición, éste es el sistema que genera precipitaciones abundantes en la mayor parte de la entidad. Se ha observado que cuando el anticiclón se encuentra al norte del país y los vientos alisios soplan con velocidades inferiores a los 20 Km/h, debido al calentamiento superficial que se presenta durante el verano, se genera después de uno o dos días de calentamiento una baja presión, la cual se puede observar en el mes de junio húmedo.

La posición de este sistema de baja presión determinará en qué región del estado se presentarán las lluvias más significativas, ya que cómo se puede ver en el mapa de junio seco (figura 5.2.2), su posición es más hacia el sur, por lo que las precipitaciones se concentran en el sur de la entidad. De hecho al sur de la entidad se presentan las precipitaciones más abundantes, lo cual se verá claramente en el mapa de precipitaciones anuales históricas. En los anexos digitales se encuentran todos los 24 mapas de viento con el análisis correspondiente.

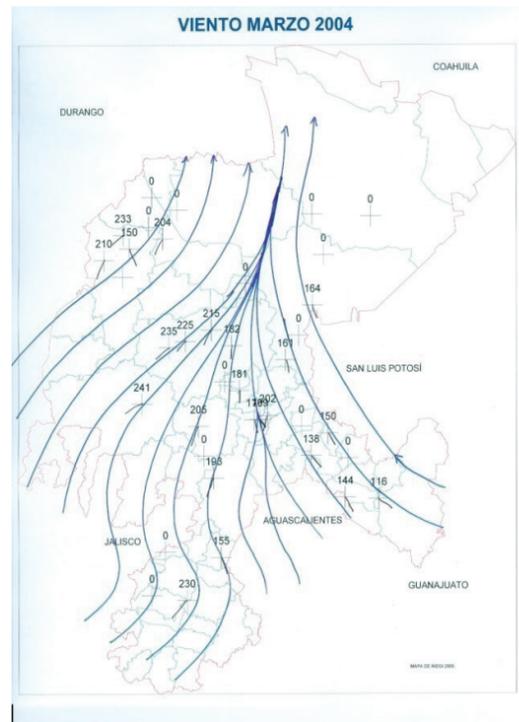


Figura 5.2.3 Viento de marzo con lluvias abundantes

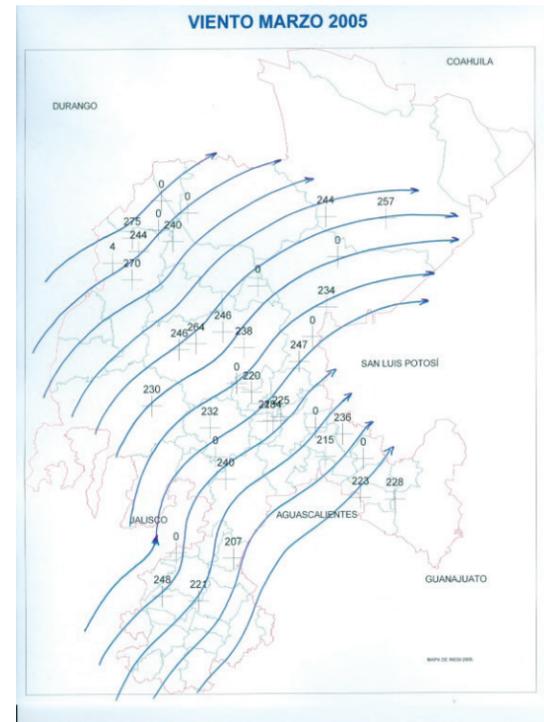


Figura 5.2.4 Viento de marzo con lluvias escasas

La figura 5.2.3 muestra el mes de marzo de 2004, mes en el que se presentaron lluvias abundantes. Como se puede observar en la carta, existe una zona de convergencia bien identificada en el centro de la entidad. Se puede observar igualmente que los vientos en la mayor parte de la entidad tienen componente del sur y suroeste, esto es originado por una vaguada polar asociada a la corriente de chorro. Este sistema es el que genera vientos fuertes durante este mes, que como ya se observó en los datos de los observatorios, marzo es el mes donde sopla el viento con mayor velocidad. Lo anterior debido a que en la altura, aproximadamente a 10 Km de altitud, la corriente de chorro sopla con una velocidad superior a los 120 Km/h. Conforme se desciende en altitud, la velocidad del viento disminuye, pero a los 3,000 m todavía presenta velocidades elevadas, como de 40 a 60 Km/h.

La gráfica 5.2.4 muestra un mes de marzo con lluvias escasas en marzo. Este mes es donde se presentan las más bajas precipitaciones en todo el año y esto se puede observar en este mapa, donde los vientos dominantes son del suroeste. Si asociamos este mapa con el mapa de humedad relativa de este mes, se comprobará que los vientos asociados a este sistema meteorológico de escala sinóptica, presentan escaso contenido de humedad.

5.3 Mapa de precipitación

La figura 5.3.1 muestra la precipitación media anual histórica en la entidad. Para su elaboración se emplearon datos de 262 estaciones. De CONAGUA DLZAC e INIFAP ZAC se hicieron los promedios, mientras que del SMN se obtuvieron los datos de la página de Internet del SMN. Se dispone de este mapa en una mejor resolución para su impresión en plotter. Al tomarse estaciones con diferentes intervalos de tiempo de operación, se sabe que existirá un error, pero debido a la falta de información completa, es lo mejor que se puede hacer para tener una idea aceptable del campo de la precipitación.

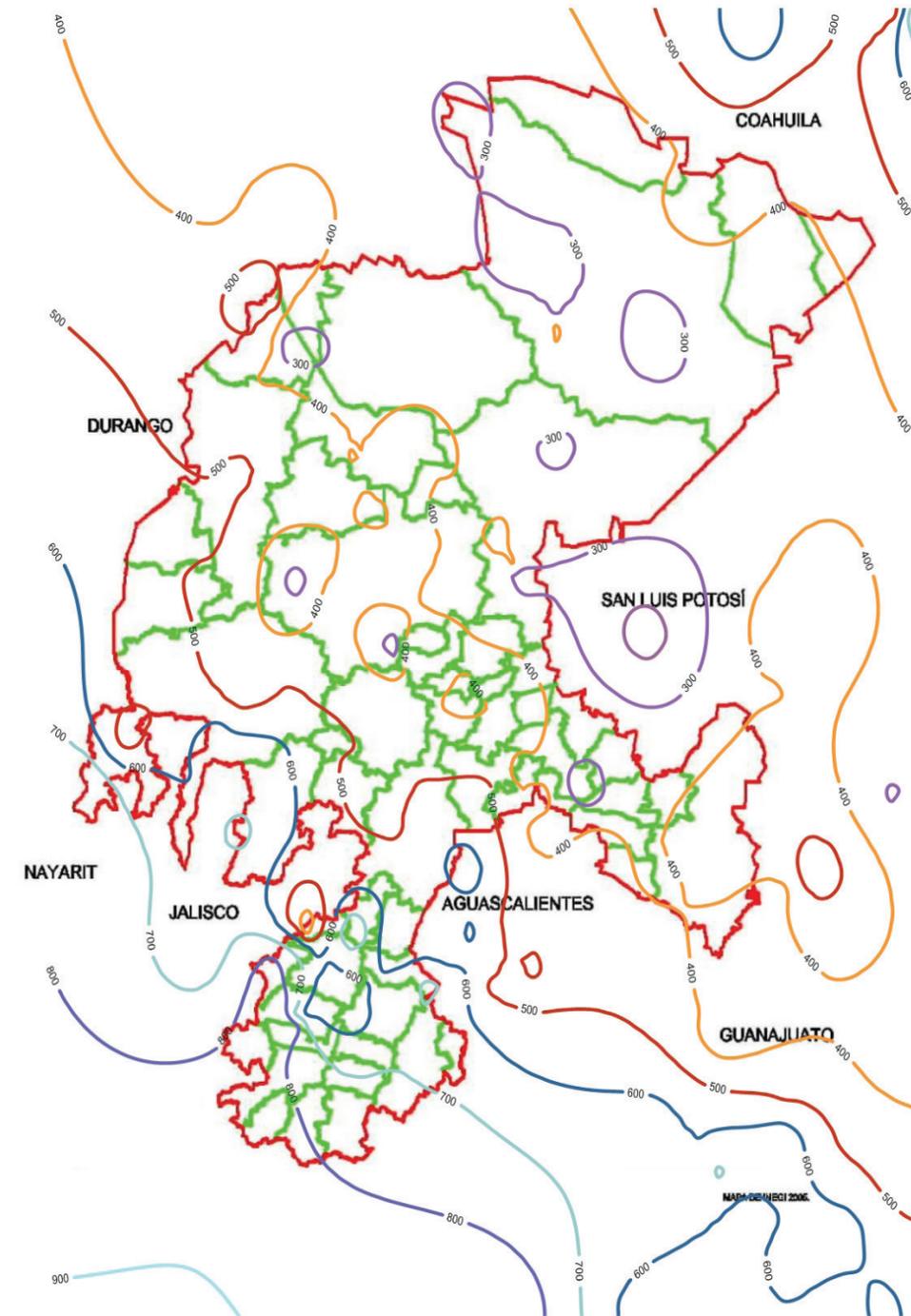


Figura 5.3.1 Lluvias anuales en el estado de Zacatecas

5.4 Mapa de temperaturas

Nom_Mpio	Nom_Est	ALT_m_GPS	ANUAL
Villa Hidalgo	El Rucio	2122	16.7784614
Pinos	Espiritu Santo	2007	16.2518427
Noria de Angeles	Gral. Glpe_Victoria	2132	16.6096028
Loreto	Loreto	2077	17.491212
Villa García	Los Campos	2103	16.0343387
Luis Moya	Luis Moya	2017	16.5018654
Ojocaliente	Ojocaliente	2062	15.7976159
Ojocaliente	Palmillas	2169	16.0849637
Pinos	Pino Suarez	2119	15.9299566
Cuauhtémoc	San Pedro Piedra Gorda	2053	16.6436405
Trancoso	Trancoso	2200	15.5244323
Villa García	Villa Garcia	2110	16.3952131
Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	2195	15.6886343
Villa de Cos	Agua Nueva	1946	17.5754909
Mazapil	Camacho	1665	17.5849341
Mazapil	Caopas	1986	17.0556073
Fresnillo	Chichimequillas	2072	16.6128607
Mazapil	Ejido San Rafael	2014	17.276196
Mazapil	Gruñidora	1809	16.7072962
Mazapil	Mazapil	2274	15.4946864

El mapa de temperaturas medias anuales que se elaboró utilizando el criterio de que la temperatura desciende con la altura de manera gradual. Lo anterior debido a las isotermas son muy difícil de graficar por la ausencia de datos en zonas montañosas, sin embargo, de acuerdo a la atmósfera estándar o tipo O.A.C.I.¹¹, la temperatura desciende con la altura a razón de 0.65° C/100 m, pero hay que adecuar este dato de acuerdo a las temperaturas del estado. Para ello se elaboró una tabla 5.4.1 en Excel con estaciones que cumplen con 30 años de información, posteriormente de estas estaciones se realiza la gráfica por dispersión X, Y, relacionando las temperaturas medias con las elevaciones, se obtiene la ecuación de la recta y se comprueba que R² muestra un valor significativo, en este caso se obtuvo el valor de 0.7, figura 5.4.1.

Tabla 5.4.1 Relación temperatura elevación

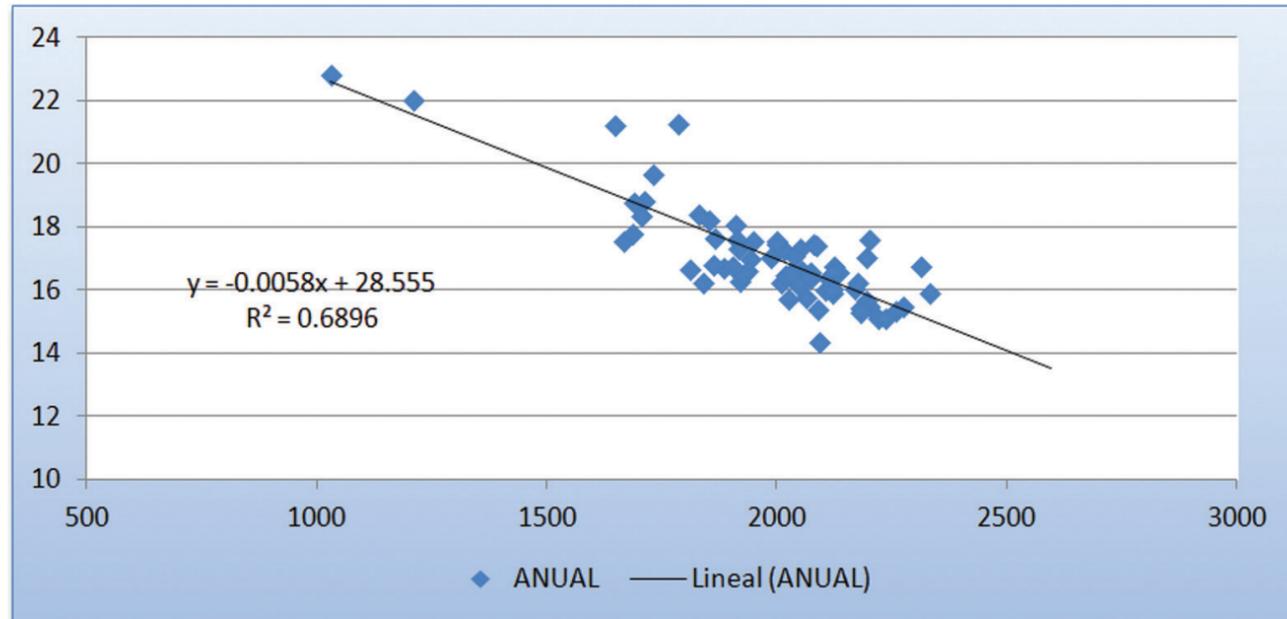


Figura 5.4.1 Ecuación de la recta temperatura-elevación

Una vez que se comprueba que la ecuación describe la relación temperatura-elevación correctamente, se obtiene el error medio, lo cual se puede ver en la tabla 5.4.2.

Nom_Mpio	Nom_Est	ALT_m_GPS	ANUAL	T CAL	REAL-CALC	REAL-CALC ²
Villa Hidalgo	El Rucio	2122	16.7784614	16.265	0.513461356	0.263642564
Pinos	Espiritu Santo	2007	16.2518427	16.8975	-0.645657287	0.416873332
Noria de Angeles	Gral. Glpe_Victoria	2132	16.6096028	16.21	0.399602786	0.159682387
Loreto	Loreto	2077	17.491212	16.5125	0.978712022	0.957877221
Villa García	Los Campos	2103	16.0343387	16.3695	-0.335161348	0.112333129
Luis Moya	Luis Moya	2017	16.5018654	16.8425	-0.340634582	0.116031918
Ojocaliente	Ojocaliente	2062	15.7976159	16.595	-0.797384095	0.635821395
Ojocaliente	Palmillas	2169	16.0849637	16.0065	0.078463722	0.006156556
Pinos	Pino Suarez	2119	15.9299566	16.2815	-0.351543389	0.123582754
Cuauhtémoc	San Pedro Piedra Gorda	2053	16.6436405	16.6445	-0.000859456	7.38664E-07
Trancoso	Trancoso	2200	15.5244323	15.836	-0.311567657	0.097074405
Villa García	Villa Garcia	2110	16.3952131	16.331	0.064213073	0.004123319
Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	2195	15.6886343	15.8635	-0.174865733	0.030578025
Villa de Cos	Agua Nueva	1946	17.5754909	17.233	0.34249087	0.117299996
Mazapil	Camacho	1665	17.5849341	18.7785	-1.193565882	1.424599514
Mazapil	Caopas	1986	17.0556073	17.013	0.042607283	0.001815381
Fresnillo	Chichimequillas	2072	16.6128607	16.54	0.072860691	0.00530868
Mazapil	Ejido San Rafael	2014	17.276196	16.859	0.417195956	0.174052466
Mazapil	Gruñidora	1809	16.7072962	17.9865	-1.279203781	1.636362312
Mazapil	Mazapil	2274	15.4946864	15.429	0.065686439	0.004314708
Mazapil	Nuevo Mercurio	1712	18.8384851	18.52	0.318485123	0.101432774
Villa de Cos	San Andres	2087	15.3956965	16.4575	-1.061803477	1.127426625
Pánuco	San Antonio del Cipres	2173	16.2709876	15.9845	0.286487636	0.082075166
Mazapil	San Benito	1941	17.0356614	17.2605	-0.224838591	0.050552392
Mazapil	San Tiburcio	1885	16.7356577	17.5685	-0.832842316	0.693626323
Villa de Cos	Sierra Hermosa	2092	14.3914855	16.43	-2.038514501	4.155541372
Villa de Cos	Tierra y Libertad	2030	16.589928	16.771	-0.18107205	0.032787087
Villa de Cos	Villa de Cos	2050	17.3641628	16.661	0.703162811	0.494437939
Jerez	Jerez	2000	17.4970544	16.936	0.561054425	0.314782068
Villanueva	Presa Malpaso	2119	16.5299289	16.2815	0.248428893	0.061716915
Mezquital del Oro	Mezquital del Oro	1208	22.0481254	21.292	0.756125394	0.571725612
Teul de Glez Ortega	Milpillas de Allende	1919	16.3320891	17.3815	-1.0494109	1.101263237
Nochistlán de Mejía	Nochistlan	1853	18.2411243	17.7445	0.496624307	0.246635703
Susticacán	Susticacan	2037	17.1013176	16.7325	0.36881757	0.1360264
Villanueva	Tayahua	1729	19.7182939	18.4265	1.291793936	1.668731574
Tabasco	Pr. El Chique EC	1648	21.2523485	18.872	2.380348538	5.666059164
Apozol	Tenayuca	1865	17.6957791	17.6785	0.017279067	0.000298566

Tabla 5.4.2 Error medio

En este caso el error medio fue de 0.87 ° C

Lo que procede a continuación conseguir la base de datos con las curvas de nivel en formato shape para el programa ArcGIS, con curvas de nivel cada 10 m y agregar una columna con el cálculo del valor de la elevación por la ecuación obtenida en Excel.

Finalmente, se grafican estos nuevos valores obtenidos en el programa ArcGIS, se le da la presentación deseada y se obtiene el mapa que se puede observar en la figura 5.4.2.

11 Problemas de Meteorología I. Estática y termodinámica de la atmósfera, Carlos García-Legaz Martínez y Federico Castejón de la Cuesta

Capítulo VI

Cambio Climático

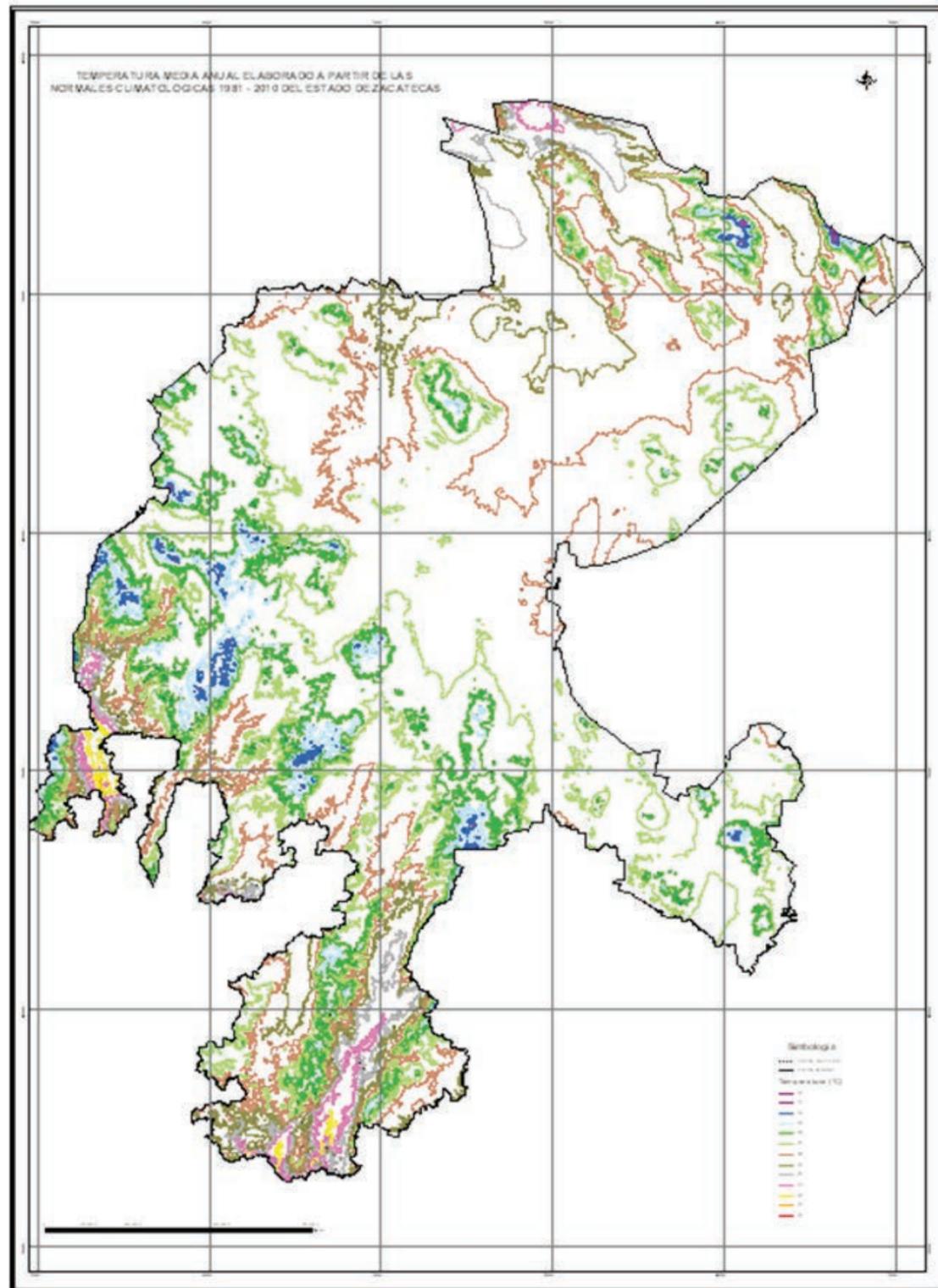
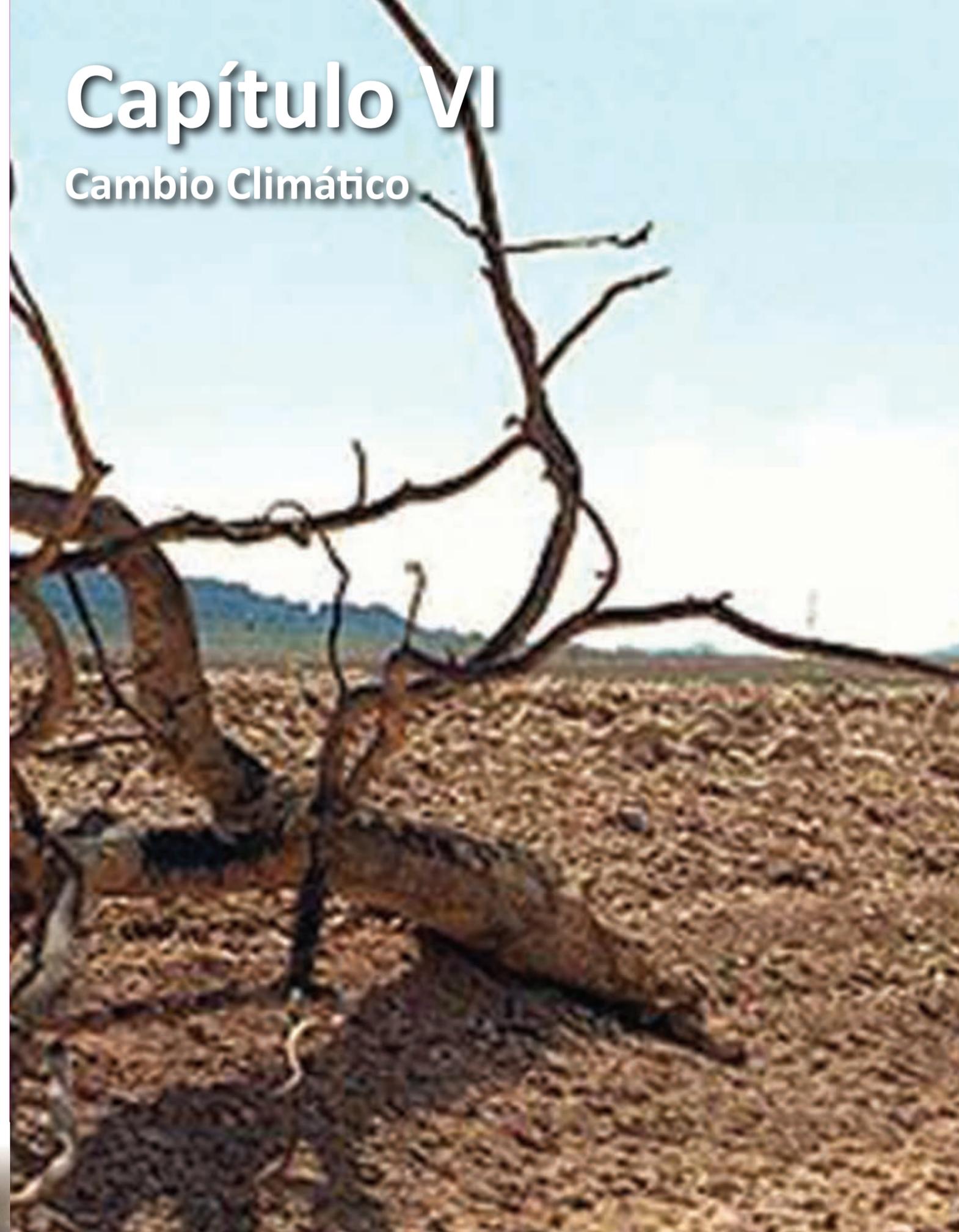


Figura 5.4.2 Temperaturas de Zacatecas

Este es un trabajo experimental y se proponen dos versiones, uno con las temperaturas medias anuales obtenidas a partir de las normales y otra a partir de las temperaturas medias históricas, la cual tendría más información, aunque presentaría el error de que los tiempos de medición no son iguales.



En los últimos años el tema del calentamiento global ha cobrado mucho interés debido a que en las últimas décadas ha habido sequías y altas temperaturas en diferentes regiones del planeta, lo que condujo a que la OMM y UNEP, dependientes de la ONU, a crear el IPCC en 1988 con el objetivo de determinar las causas de estos cambios en el clima y tratar de aminorar sus efectos dañinos en el planeta. Sin embargo, se observa en Zacatecas y en México en general, que la gente no tiene claros los conceptos, se confunde Cambio Climático, con contaminación del aire, con cultura ecológica, cuidar especies en peligro de extinción, capa de ozono o con separar la basura. Por tal motivo, se debe de proporcionar información completa, objetiva y clara para que la gente pueda tener una idea correcta de lo que cambio climático significa.

El IPCC define cambio climático así¹²:

‘any change in climate over time, whether due to natural variability, or as a result of human activity’ (IPCC, 2001).

Cualquier cambio del clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como un resultado de la actividad humana.

Así mismo, después de haber hecho diversos estudios, el IPCC realiza las siguientes observaciones¹³:

El IPCC, en su reporte, separó la evidencia dura de aquella que hace una década presentaba incertidumbre, al señalar que:

- Existe firme evidencia de que ha existido en el último par de siglos una creciente concentración de gases termoactivos en la atmósfera planetaria.
- Es factible que dicha acumulación se deba a actividades antropogénicas, especialmente las vinculadas con el uso de combustibles fósiles.
- Para estabilizar las concentraciones atmosféricas de CO₂, sus emisiones tendrían que reducirse entre 60 y 80%.
- Se apreció en esa época, que era posible y probable que dicha acumulación acarree un incremento en la temperatura media global de 0.3°C por década.
- Otra consecuencia probable es que en este nuevo siglo el nivel medio del mar se podría incrementar seis centímetros por década, tanto por efecto de expansión térmica, cuanto por el posible deshielo de polos y glaciares.
- De presentarse dicho cambio, los efectos sobre la actividad humana y los ecosistemas, aunque aún no totalmente definidos, probablemente serían diferentes de una región a otra.
- El problema sólo se podrá enfrentar exitosamente con la cooperación internacional.

A continuación se expondrá una breve exposición sobre lo que se considera más importante para que haya una mejor comprensión del tema. El problema principal es que abarca muchos puntos que en ocasiones lastiman la sensibilidad de las personas, porque se tratan intereses personales. Sobre todo cuando se habla de explosión demográfica, distribución

12 *The IPCC Scientific Assessment Edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noequer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell And C. A. Jonhson, Cambridge University Press, Published for the IPCC-WMO-UNEP.*

13 *Cambio climático, una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, 2004*

un poco más equitativa de la riqueza, enorme ignorancia, política energética basada en productos derivados del petróleo, energías renovables, etc. Igualmente importante es el hecho de que un sector de la comunidad científica no está de acuerdo en lo que establece el IPCC. Un ejemplo que engloba todo esto es la siguiente afirmación¹⁴:

‘El Protocolo de Kyoto exige reducciones obligatorias de dióxido de carbono del 30% para los países desarrollados como los EE.UU. La reducción de las emisiones artificiales de CO₂ tendría un efecto indetectable sobre el clima, mientras que tiene un efecto devastador en la economía de los EE.UU. ¿Puedes conducir tu coche un 30% menos de gasolina? ¿Reducir en invierno la calefacción un 30%? ¿Pagar un 20-50% más por todo, también cuando vas a llenar el tanque de tu automóvil? Y eso es sólo un anticipo, con más sacrificios por venir más tarde.

Tales medidas drásticas, incluso si se imponen por igual a todos los países del mundo, reduciría las contribuciones totales de gases de CO₂ humanas en aproximadamente un 0.035%.

¡Esto es mucho menor que la variabilidad natural del sistema climático de la Tierra!

Mientras que la reducción de gases de efecto sería exigir un alto precio humano, en términos de sacrificios a nuestro nivel de vida, podrían dar resultados estadísticamente insignificantes en términos de impactos medibles al cambio climático. No se espera que ninguna de las reducciones para el calentamiento global estadísticamente significativas provenga del Protocolo de Kyoto.’

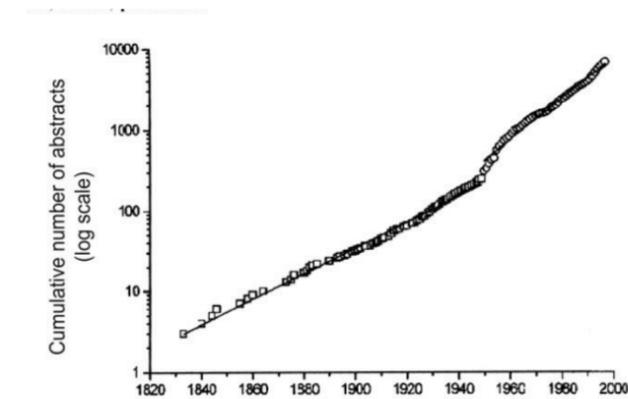


Figura 6.1 Publicación de libros

Esto muestra en buena parte cómo la comunidad científica está dividida en cuanto a los orígenes del calentamiento global y en cómo pueden ser aminorados sus efectos.

En los últimos años se han escrito libros de meteorología y climatología como nunca. La gráfica 6.1¹⁵ muestra cómo la publicación de libros se ha incrementado notablemente. Eso quiere decir que se han invertido recursos importantes a estos sectores, lo cual ha permitido un avance importante sobre el tema. Eso ha ocasionado también una mayor toma de conciencia por parte de la sociedad sobre fenómenos relaciones con la atmósfera. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, todavía existen muchas ideas que no se comprenden del todo bien y se tratará de explicar. Lamentablemente, muchos libros se han escrito por personas que carecen de los conocimientos básicos de meteorología y de la circulación general de la atmósfera y el IPCC lo establece claramente cuando establece lo siguiente:

‘If one wishes to understand, detect and eventually predict the human influence on climate, one needs to understand the system that determines the climate of the Earth and of the processes that lead to climate change’.

‘The climate of the Earth as a whole depends on factors that influence the radiative balance, such as, for example, the atmospheric composition, solar radiations and volcanic eruptions’.
‘climate is determined by atmospheric circulation and by its interactions with the large-scale ocean currents, and the land with its features such as albedo, vegetation and soil moisture’

14 *Dr. S. Fred Singer, atmospheric physicist. Professor Emeritus of Environmental Sciences at the University of Virginia, and former director of the US Weather Satellite Service; in a sept. 10. 2001 Letter to Editor. Wall Street Journal <http://www.geocraft.com/WVFossils/greenhouse data.html>*

15 *Stanhil, G. (1999) Climate Change Science is now big science. Forum, EOS, vol. 80, n°35,396-397.*

“Si se desea entender, detectar y eventualmente predecir la influencia del ser humano sobre el clima, se requiere entender los sistemas que determinan el clima en la Tierra y el proceso que conduce a un cambio climático.”

“El clima en la Tierra como un todo, depende de factores que tienen influencia en el balance de radiación, por ejemplo los componentes de la atmósfera, la radiación solar y las erupciones volcánicas.”

“El clima se establece por la circulación atmosférica y por su interacción con las corrientes oceánicas de gran escala, el suelo y sus características tales como el albedo, vegetación y humedad del suelo”¹⁶

Estos últimos puntos son muy importantes, ya que los sistemas meteorológicos tales como la corriente de chorro y las vaguadas polares son los que se encargan de repartir el aire frío hacia latitudes tropicales y el aire caliente hacia latitudes medias sobre la superficie terrestre y son ellos los que definen el clima en cada región del planeta.

Los anticiclones moldean los desiertos, estos mismos sistemas generan olas de calor, sequías o fríos intensos en invierno. Los ciclones extratropicales y tropicales, así como las bajas presiones distribuyen las precipitaciones; asimismo el ser humano cambia el uso del suelo, el albedo, la cubierta vegetal y la humedad del suelo.

Igualmente, cuando se analiza el cambio climático la pregunta obligada es: ¿Dónde se presenta el calentamiento global? ¿En toda la tierra o en qué regiones es más intenso el incremento de las temperaturas?

A continuación se tratará de dar a conocer las diferentes opiniones de diversas personalidades científicas, con el único interés de que el lector tenga un poco más de conocimiento sobre el cambio climático, tema del que se observa un desconocimiento importante por parte de la mayoría de la población y aun existen muchas dudas por parte de la comunidad científica.

El calentamiento no es global

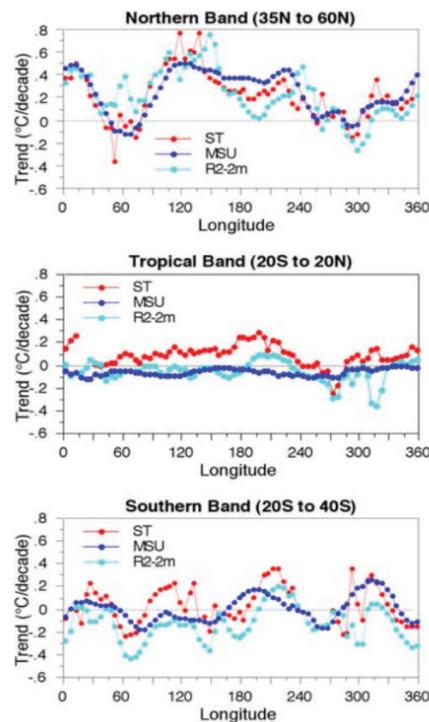


Figura 6.2 Tendencias de temperaturas en 3 regiones del planeta

En la figura 6.2¹⁷ se observan las tendencias de las temperaturas de 1979 a 1996 en diferentes regiones del planeta. ST es la temperatura superficial medida con termómetros a 1.5 m de superficie (línea roja). MSU es la temperatura medida usando los satélites meteorológicos (línea azul oscuro), mientras que R2-m2 es la temperatura medida por medio de los globos con radiosonda a una altura de 2 m (línea azul claro).

En la primera imagen, que corresponde a la región del planeta ubicada de 35° a 60° N se observan tres zonas con un calentamiento importante y son:

- 1) Holanda y Alemania.
- 2) Manchuria y Océano Pacífico Occidental
- 3) Océano Pacífico y oeste de Alaska.

En el segundo mapa, que corresponde a latitudes tropicales, no se observan regiones con calentamiento intenso, con anomalía superior a 0.4° C, mientras que en el último mapa

Lo que es necesario observar es de que hay muchas regiones del planeta que muestran una tendencia negativa, lo que indicaría que estas zonas se estuvieron enfriando durante el periodo de estudio al mostrar un valor negativo.

Si se observa la figura 6.3¹⁸, se puede observar que el hemisferio sur se ha enfriado, mientras que el hemisferio norte se ha calentado, mientras que las regiones tropicales muestran que las temperaturas medidas por termómetros convencionales se ha incrementado, no así por satélite y radiosondeo, que muestran un enfriamiento en estas regiones del trópico. Entonces todo se complica un poco más, debido a que las gráficas anteriores nos muestran que toda la tierra no se está calentando de manera global, sino regional y que si se hace la suma algebraica de toda la tierra se obtendría una tendencia positiva. Se da este ejemplo, para ilustrar lo que sucede en Zacatecas, ya que en el estado se detectaron zonas donde la temperatura está aumentando pero también disminuyendo, pero eso se analizará a detalle en el capítulo siguiente.

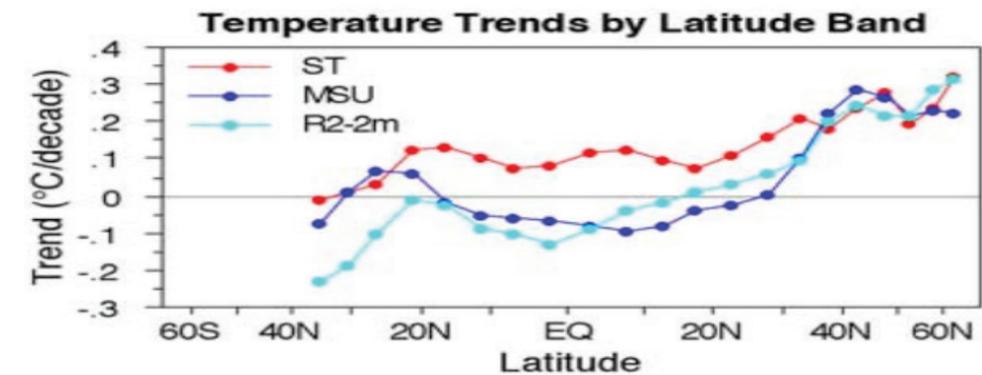


Figura 6.3 Tendencias de temperaturas por regiones del planeta

El vapor de agua es el principal gas de efecto invernadero

Otro punto de suma importancia es el referente a los gases de efecto invernadero, el cual el principal es el vapor de agua, como se puede observar en la figura 6.4¹⁹. En ella se muestra las diferentes ondas electromagnéticas emitidas por el Sol, desde la radiación ultravioleta, de ahí al visible y de ahí a la radiación electromagnética infrarroja. El Sol emite en onda corta, la cual es absorbida por la tierra y ésta emite en onda larga. Desde luego se observa que el Ozono absorbe la radiación ultravioleta principalmente y se encuentra principalmente por arriba de la tropopausa. En el resto de los gases, se observa que el gas de efecto invernadero predominante es el vapor de agua, ya que su espectro de absorción es mucho mayor que los demás gases, seguido por el CO₂, seguido por el óxido nítrico y finalmente el metano.

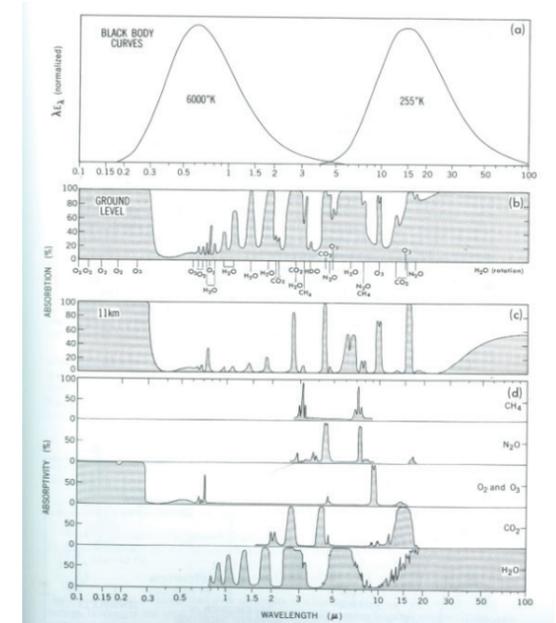


Figura 6.4 Espectro de absorción de los principales gases de efecto invernadero

16 Climate Change 2001: The IPCC Scientific Assessment. Editado por J. T. Houghton, Y Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linder, X. Dai, K. Maskell y C. A. Jonhson. Cambridge University Press para IPCC-WMO-UNEP.

17 Disparity of tropospheric and surface temperature trends: New evidence, David H. Douglass, Benjamin D. Pearson, S. Fred Singer, Paul C. Knappenberger, and Patrick J. Michaels

18 Disparity of tropospheric and surface temperature trends: New evidence, David H. Douglass, Benjamin D. Pearson, S. Fred Singer, Paul C. Knappenberger, and Patrick J. Michaels

19 Physics of Climate. José P. Peixoto and Abraham H. Oort

La figura 6.5 muestra la distribución de estos gases. En ella se aprecia que el vapor de agua es, por mucho, el principal gas de efecto invernadero.²⁰ Su porcentaje en la atmósfera es de aproximadamente 95%, mientras que el dióxido de carbono presenta un porcentaje del 3.618% y de ese valor, únicamente el 3.34% es de origen antropogénico, es decir a nivel global el CO₂ generado por el hombre es de 0.117% del volumen global de gases de efecto invernadero.

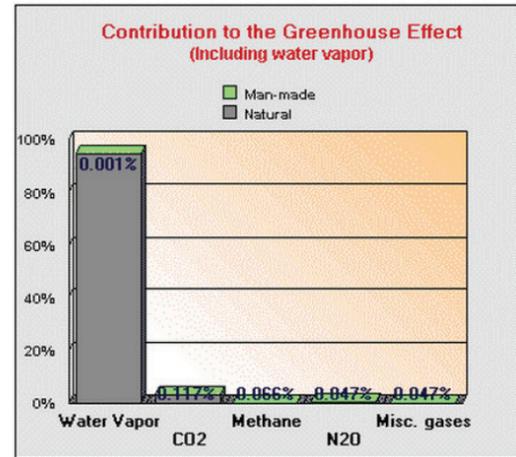


Figura 6.5 gráfica de barras de gases de efecto invernadero

Anthropogenic (man-made) Contribution to the "Greenhouse Effect," expressed as % of Total (water vapor INCLUDED)

Based on concentrations (ppb) adjusted for heat retention characteristics	% of Greenhouse Effect	% Natural	% Man-made
Water vapor	95.000%	94.999%	0.001%
Carbon Dioxide (CO ₂)	3.618%	3.502%	0.117%
Methane (CH ₄)	0.360%	0.294%	0.066%
Nitrous Oxide (N ₂ O)	0.950%	0.903%	0.047%
Misc. gases (CFC's, etc.)	0.072%	0.025%	0.047%
Total	100.00%	99.72	0.28%

Tabla 6.1 Gases de efecto invernadero

A continuación se presentan las consideraciones sobre los principales gases de efecto invernadero por la NOAA²²:

"Vapor de Agua

El vapor de agua es el gas de efecto invernadero más abundante en la atmósfera, por lo que se trata primero. Sin embargo, Los cambios en su concentración se consideran que son el resultado de la retroalimentación del clima para el calentamiento de la atmósfera y no por el resultado de la industrialización. El circuito de retroali-

mentación acerca del comportamiento del agua es de vital importancia para proyectar el cambio climático en el futuro, pero todavía sigue siendo bastante mal medido y comprendido.

A medida que la temperatura de la atmósfera aumenta,

más agua se evapora de almacenamientos en superficie (ríos, océanos, embalses, suelo). Debido a que el aire es más cálido, la humedad absoluta (cantidad de gramos de vapor de agua en un metro cúbico de aire) puede ser mayor (en esencia, el aire es capaz de 'mantener' más agua cuando hace más calor), lo que lleva más vapor de agua a la atmósfera. Como gas de efecto invernadero, una mayor concentración de vapor de agua es entonces capaz de absorber más energía IR térmica radiada desde la Tierra, así que hay más calentamiento en la atmósfera. El ambiente más cálido puede contener más vapor de agua y así sucesivamente y así sucesivamente. Esto se conoce como un "bucle de retroalimentación positiva". Sin embargo, existe incertidumbre científica enorme en la definición del alcance y la importancia de este bucle de retroalimentación. Como el vapor de agua aumenta en la atmósfera, se condensarán más finalmente nubes, que son más capaces de reflejar la radiación solar entrante (permitiendo así que

menos energía alcance la superficie de la Tierra y se caliente menos). El futuro seguimiento de los procesos atmosféricos relacionados con el vapor de agua será fundamental para entender completamente la retroalimentación en el sistema climático que conduce al cambio climático global. Hasta ahora, aunque los fundamentos del ciclo hidrológico se conocen bien, se tiene muy poca comprensión de la complejidad de los bucles de realimentación. Asimismo, si bien se tienen buenas mediciones atmosféricas de otros gases de efecto invernadero claves como el dióxido de carbono y el metano, tenemos pobres mediciones de vapor de agua mundial, por lo que no está claro en qué medida las concentraciones atmosféricas han aumentado en las últimas décadas o siglos, aunque las mediciones por satélite, junto con los datos de radiosondeo atmosférico y algunas medidas del suelo in situ indican tendencias positivas en general del vapor de agua global."

"Dióxido de carbono

La producción natural y la absorción de dióxido de carbono (CO₂) se logra a través de la biosfera terrestre y el océano. Sin embargo, la humanidad ha alterado el ciclo natural del carbono por la quema de carbón, petróleo, gas natural y madera y desde la revolución industrial se inició a mediados de 1700, cada una de estas actividades ha aumentado su magnitud y distribución. El dióxido de carbono fue el primer gas de efecto invernadero que se demostró que estaba incrementando su concentración en la atmósfera, con las primeras mediciones concluyentes hechas en la segunda mitad del siglo 20. Antes de la revolución industrial,

las concentraciones fueron relativamente estables a 280 ppm. Hoy en día, son alrededor de 370ppm, un incremento de más de 30 por ciento. La concentración atmosférica tiene una marcada oscilación estacionalidad que se debe principalmente a la mayor extensión de tierras en el hemisferio norte (NH) y su vegetación. Una reducción mayor de CO₂ se produce en la primavera y el verano NH cuando las plantas convierten el CO₂ a material vegetal a través de la fotosíntesis. Luego se libera de nuevo en el otoño y el invierno cuando se descomponen las plantas."

El dióxido de carbono y el mar

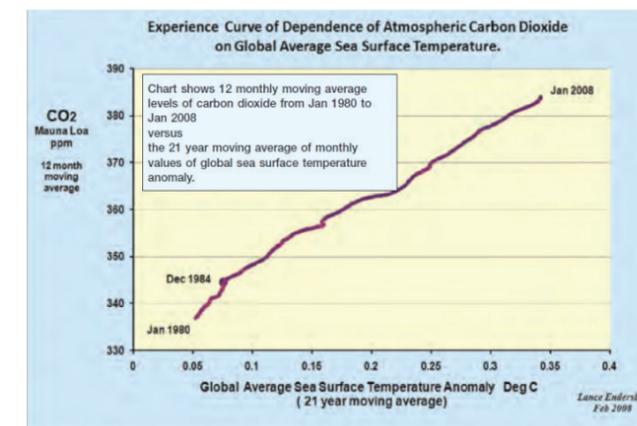


Figura 6.6 Correlación entre la temperatura de agua del mar y el CO₂

Un punto importante a tomar en cuenta es el que el CO₂ responde a las variaciones de temperatura del agua del mar, ya que cuando la temperatura del agua del mar disminuye, aumenta la absorción por parte de los océanos y cuando se incrementa la temperatura, los océanos liberan dióxido de carbono. Lo anterior se puede observar en la gráfica 6.6²³ en donde se puede observar la marcada correlación que existe entre estas dos variables. Aquí simplemente se graficaron datos de temperaturas con concentraciones de CO₂ y se obtuvo una correlación alta, como se puede apreciar; por lo que, de acuerdo con este estudio, podría ser que el CO₂ seguiría a la temperatura y no la temperatura seguiría al CO₂.

23 Climate Change. Oceans are the main regulators of carbon dioxide. Emeritus Prof Lance Endersbee is a past national president of Engineers Australia.

Asimismo, la gráfica 6.7²⁴ muestra cómo se encuentra distribuido de CO₂ en la atmósfera y en los océanos. La atmósfera tiene 750 Gigatoneladas de CO₂, mientras que la superficie del océano tiene 1020 y el mar profundo 38,000.

También hay que recordar que el agua del mar tiene la capacidad de absorber o despedir dióxido de carbono y las cantidades no son nada despreciables. El océano emite 90 y absorbe 92. Como se vio anteriormente, estos valores dependen de la temperatura, a mayor temperatura, menor absorción y a menor temperatura los valores de absorción son mayores. Los océanos y la atmósfera están en contacto directo, por lo que se transmiten calor el uno al otro.

Este proceso de intercambio de CO₂ no está bien comprendido o cuantificado, lo cual se explica en el siguiente párrafo²⁵:

“El papel de los océanos como fuentes de CO₂ y sumideros es una fuente importante de incertidumbre. El papel desempeñado por un océano caliente parece ser incuestionable. La solubilidad del CO₂ en el agua disminuye al aumentar la temperatura y es de aproximadamente 4 por ciento por grado C. Por lo tanto, la capacidad de un océano caliente para absorber CO₂ disminuye, o viceversa. Un océano con altas temperaturas cederá más CO₂ a una atmósfera caliente”.

“Los detalles de este proceso son bastante complicados. El IPCC únicamente menciona que el CO₂ se absorbe en las partes más frías del océano y puede ser liberado por la surgencia de agua en las partes más calientes. Se requiere un estudio adecuado para conocer la distribución detallada de la temperatura del océano en latitud y longitud. Para eso hay que tener en cuenta la circulación de los océanos y cómo se extrae dióxido de carbono del agua más fría a la superficie. También hay que conocer el grado de saturación de masas oceánicas en función del tiempo y el espesor de la capa de mezcla, probablemente una función de vientos en superficie y estado del mar. La tasa de absorción de CO₂ por los océanos depende de la diferencia entre la presión parcial de dióxido de carbono en la atmósfera y la presión que existiría si el océano y la atmósfera estuvieran en equilibrio”.

Este párrafo expresa muy bien lo complejo que es el sistema tierra-océano para el intercambio del CO₂ y sobre todo que se necesita mucha información para hacer un estudio detallado; sin embargo, no se cuenta con esta información.

La figura 6.8²⁶ muestra el comportamiento del CO₂ en la litosfera, noosfera, biosfera, hidrosfera y en la atmósfera. En ella se puede observar la importancia de la fotosíntesis y del cambio de uso de suelo y que estos dos elementos a nivel mundial y regional tienen mucho peso.

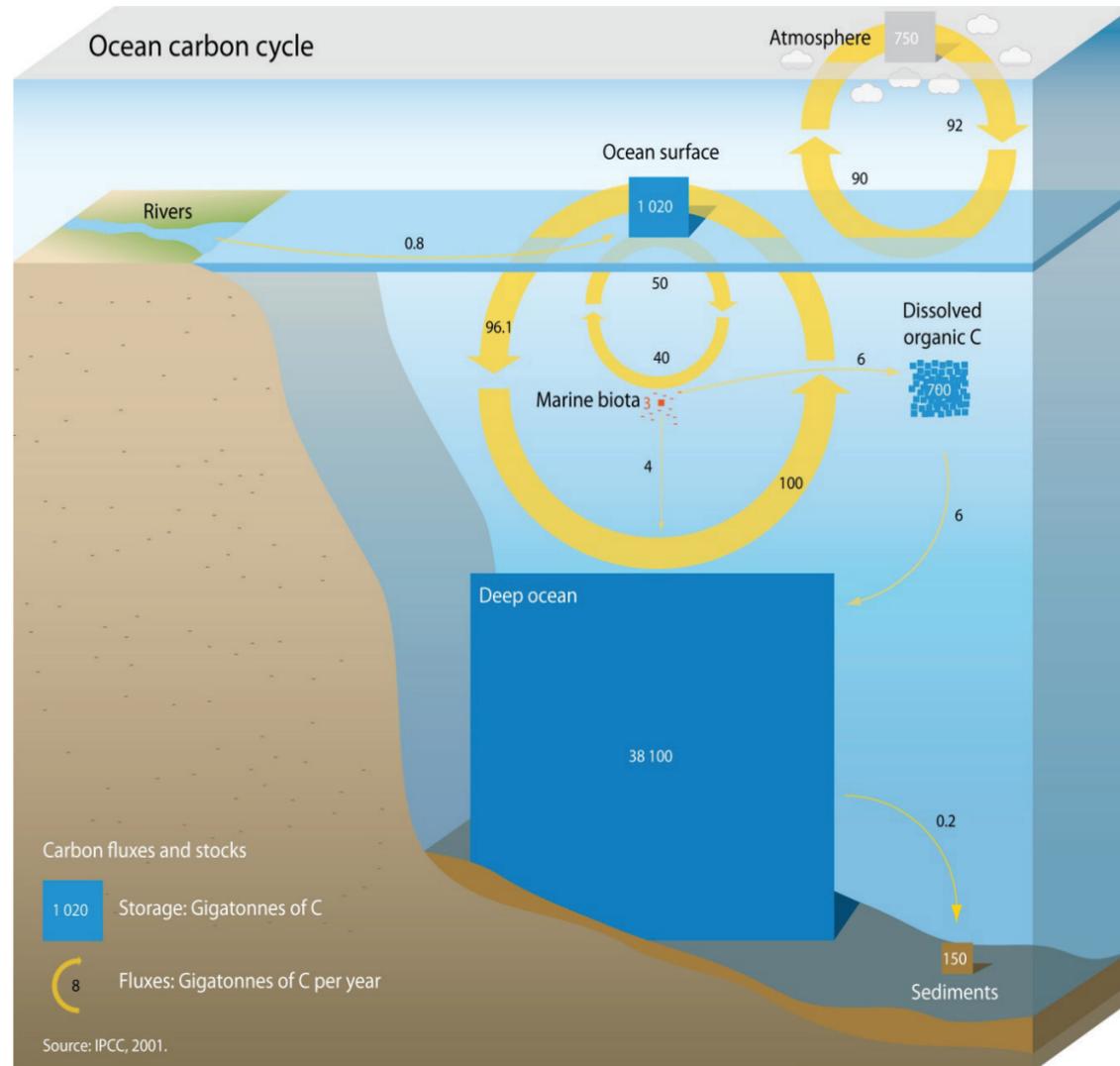


Figura 6.7 El dióxido de carbono y los océanos.

24 Riccardo Pravettoni, UNEP/GRID-Arendal) http://www.grida.no/graphicslib/detail/ocean-carbon-cycle_165c

25 S. Fred Singer, ed., *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change*, Chicago, IL: The Heartland Institute, 2008.

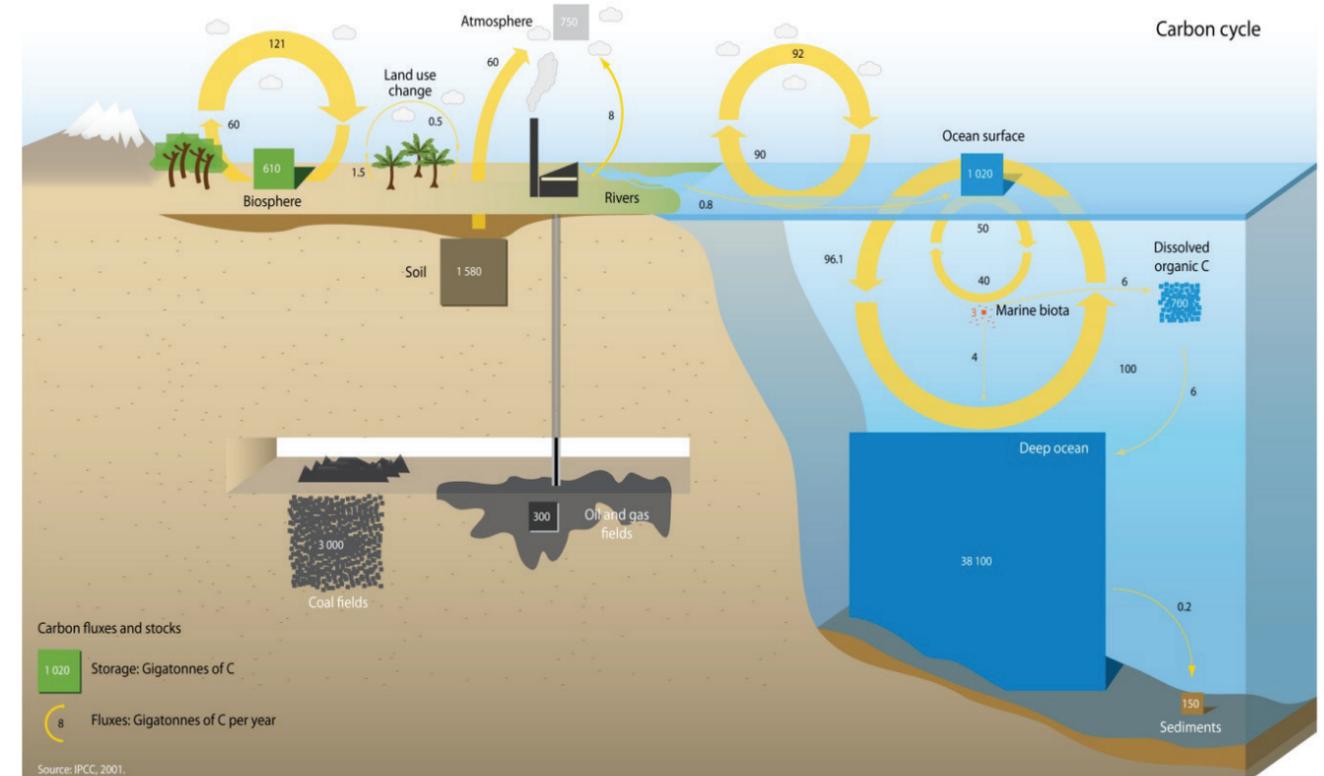


Figura 6.8 El CO₂ en la litosfera, noosfera, hidrosfera y la biosfera

26 Riccardo Pravettoni, UNEP/GRID-Arendal) http://www.grida.no/graphicslib/detail/carbon-cycle_d7da

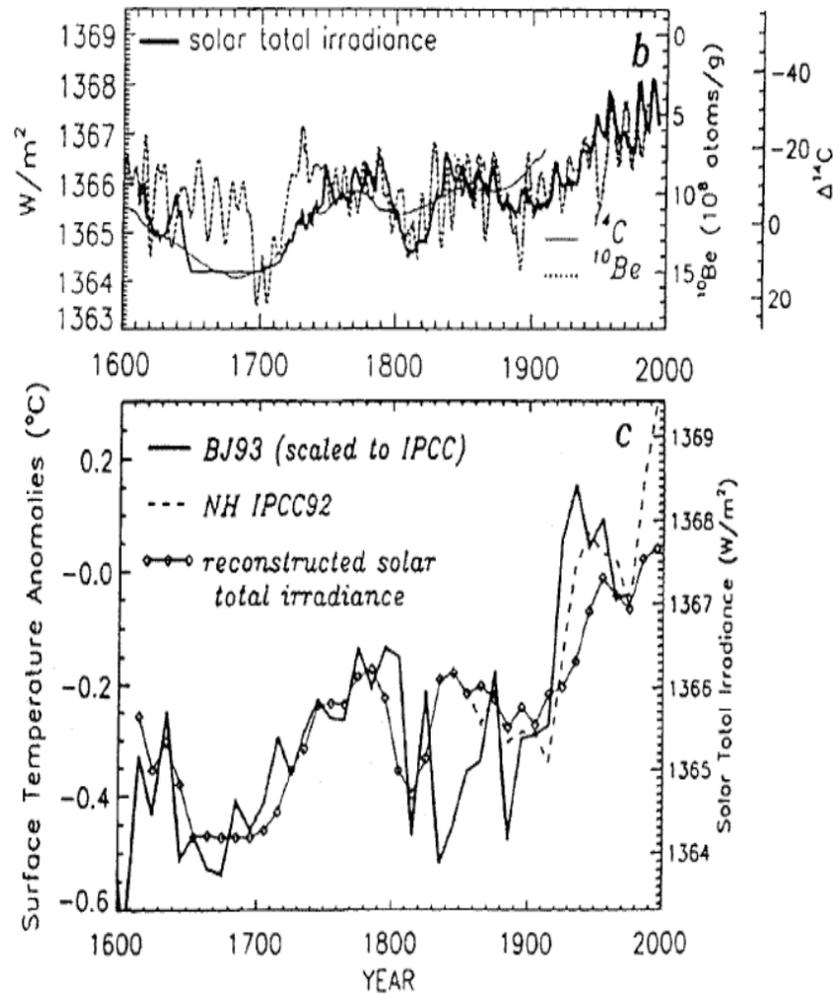


Fig. 1. (a) Sunspot number versus year is shown. During the Maunder Minimum (1645–1715), sunspots were seen very infrequently. (b) The thick line shows the Sun's total irradiance, which was reconstructed from historical group sunspot numbers. The thin line denotes deviation of carbon-14 abundance from its long-term trend in tree rings. The dotted line shows the trend for beryllium-10 in polar ice cores. (c) The thick line shows representative summer surface temperature for the Northern Hemisphere, estimated by Bradley and Jones, scaled to the IPCC temperatures (dashed line) in the common period. Diamonds denote the decadal average solar irradiance [Lean et al., 1995].

Figura 6.9. Gráfica de la radiación solar y la temperatura

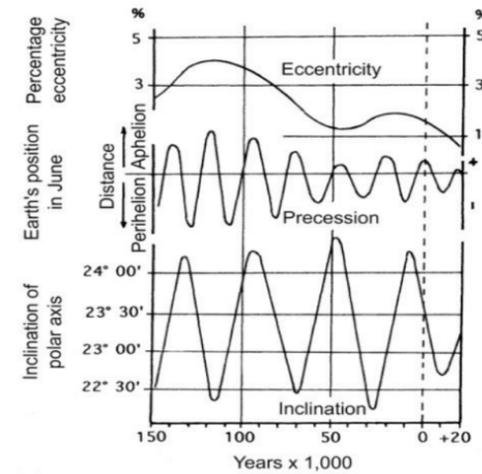


Figura 6.10 Ciclos de Milankovitch

Los ciclos de Milankovitch se muestran en la figura 6.10²⁸, en la cual se puede observar los tres cambios de distancia e inclinación importantes que experimenta la tierra con respecto al Sol y son la excentricidad arriba; es decir, la variación en la distancia que experimenta la Tierra en relación con el Sol, el cual ocasiona importantes variaciones en la radiación solar recibida en la Tierra. Precesión en medio y la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica abajo. Todos estos ciclos hacen que la radiación proveniente del Sol sufra variaciones y estas variaciones afectan el clima terrestre.

El ciclo más importante es el ciclo de la variación de la excentricidad, ya que éste definiría la distancia entre la Tierra y el Sol y por lo tanto la radiación que se recibe del Sol.

El ciclo de la inclinación del eje de la Tierra haría, si aumenta la inclinación, los veranos más calurosos y los inviernos más fríos. Un ángulo en el eje de la Tierra con menor inclinación ocasionaría veranos e inviernos más templados.

Desde luego, estos ciclos se han presentado en el pasado y continúan presentándose, ya que la Tierra está en movimiento continuo.

Balance energético de la Tierra

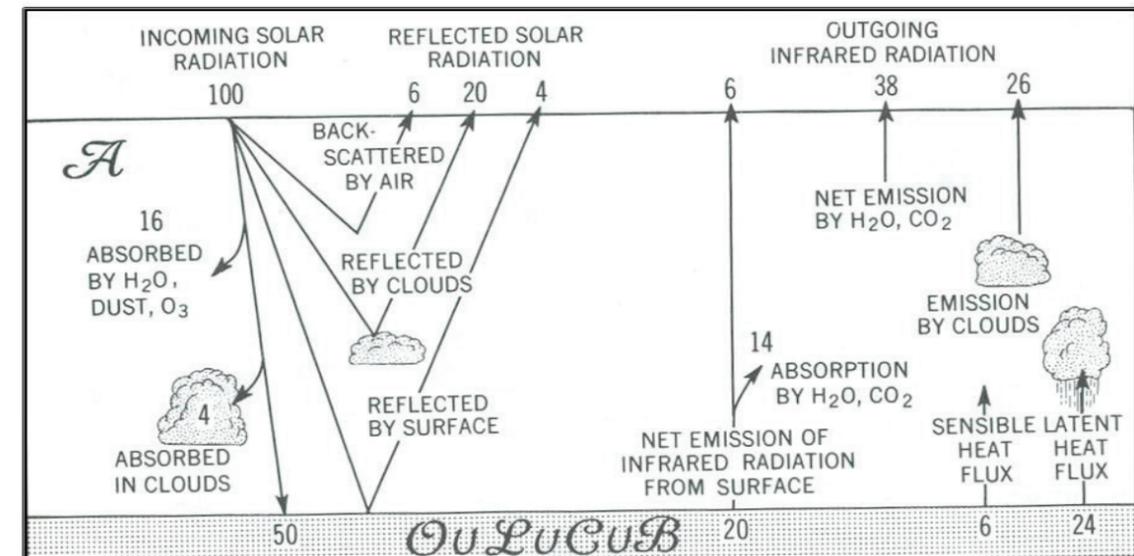


Figura 6.11 Balance energético de la Tierra

La imagen 6.11²⁹ muestra en balance energético de la Tierra, donde se puede observar lo siguiente: La radiación electromagnética proveniente del Sol, que llega al límite superior de la atmósfera es conocida como la constante solar, tiene un valor aproximado de 1.98 cal/cm²/min, en la gráfica equivale a un valor de 100.

El Sol emite en onda corta, de esas 100 unidades totales provenientes del Sol, 16 son absorbidas por el vapor de agua, polvos en la atmósfera y el ozono. 4 son absorbidas por las nubes, 50 son absorbidas por la tierra, las cuales se modifican al cambiar el uso del suelo; 6 son reflejadas directamente por la atmósfera al espacio exterior y 20 reflejadas al espacio por las nubes, 4 son reflejadas por la superficie terrestre al espacio exterior.

Por lo tanto la Tierra recibe 70 unidades de radiación solar que posteriormente la emite, pero ahora en onda larga. De esas 70 unidades, 20 son para calentar la atmósfera, el 50 restante se utiliza para calentar la criósfera, la litosfera, la hidrosfera y la biosfera. De esas 50 unidades, los océa-

nos utilizan 24 para los procesos de evaporación y 6 para los procesos convectivos en forma de calor sensible.

Finalmente, 6 son emitidas al espacio exterior, 14 son absorbidas por el vapor de agua, CO₂, metano, etc; 38 son emitidas por los gases de efecto invernadero y 26 son emitidas por las nubes.

La energía proveniente del Sol y que llega a la Tierra, es la misma que debe de salir, si se rompe este equilibrio en cualquiera de los puntos, la Tierra se calentaría o enfriaría, de acuerdo al elemento que se modifique.

Como se puede apreciar, el papel que juega el agua, en sus estados, vapor de agua, agua líquida y hielo es fundamental en los procesos de balance de calor dentro del sistema Tierra-Atmósfera. Los modelos tratan de representar todas estas variables e incrementar determinadas variables y observar qué pasaría en la Tierra ante tales variaciones, pero todavía se está muy lejos en poder hacer un modelo confiable, ya que falta incluir en estos modelos el agua atmosférica.

Opiniones diversas

Debido a lo anterior, muchos científicos le dan más importancia al agua que al CO₂.

Entre los que están en contra de que el calentamiento global sea originado por el ser humano expresan³⁰:

1. Los modelos de computadora son una guía poco confiable para determinar el futuro de condiciones climáticas.
2. El aumento del nivel del mar no se ve afectada significativamente por el aumento de los gases de efecto invernadero.
3. Los datos sobre el contenido de calor del océano han sido usados incorrectamente para sugerir el calentamiento antropogénico.
4. El papel de los gases de efecto invernadero sobre el aumento reportado en la temperatura océano es en gran parte desconocido.
5. La comprensión del balance del dióxido carbono atmosférico es incompleta.
6. Mayores concentraciones de gases de efecto invernadero es probable que sea beneficioso para la vida vegetal, animal y para la salud humana que bajas concentraciones.
7. Conclusión: Nuestra comprensión imperfecta de las causas y consecuencias del cambio climático significa que la ciencia está lejos de haberlo resuelto. Esto, a su vez, significa que los esfuerzos propuestos para mitigar el cambio climático, por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero son prematuros y equivocados. Cualquier intento de influir en la temperatura global mediante la reducción de tales emisiones sería inútil y costoso.

29 *Physics of Climate. José P. Peixoto and Abraham H. Oort*

30 *S. Fred Singer, ed., Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change, Chicago, IL: The Heartland Institute, 2008.*

Las opiniones a favor de que el cambio climático tiene origen antropogénico expresan³¹:

“La incertidumbre es inevitable, pero el riesgo es cierto”.

“A pesar de la incertidumbre, se deben de tomar decisiones”.

“Los riesgos que se pueden presentar son:

- *Cambios en la productividad natural y en la biodiversidad, con un aumento en la tasa de extinciones de especies.*
- *Disminución de los rendimientos de la cosecha de cereales en los países tropicales y subtropicales, y en los países de clima templado por el incremento de las temperaturas.*
- *Incremento en el déficit de agua en muchas regiones con escasez de agua debido a disminuciones regionales en precipitaciones.*
- *Aumento de la evaporación y pérdida de los glaciares y almacenamientos temporales de nieve.*
- *Efectos económicos adversos en muchos países en desarrollo por el calentamiento, incluso pequeños, y para los países desarrollados por el calentamiento.*
- *Decenas de millones de personas en las islas pequeñas y las zonas bajas costeras presentan riesgo grave de inundaciones por el aumento del nivel del mar y las mareas de tempestades.*
- *Amenazas crecientes para la salud humana, las desigualdades crecientes entre los países pobres y ricos, mayor riesgo de cambios climáticos abruptos e irreversibles.”*

La literatura consultada para la elaboración de este trabajo, se presentan una amplia lista de libros, páginas de internet y reportes que se recomiendan ampliamente leer, para tener una idea más clara de lo que significa, este muy complejo tema del cambio climático.

Consideraciones del autor del libro

Como se vio con todo lo anterior, se desconoce mucho todavía acerca de todos los factores que involucran al calentamiento global. A pesar de todos los esfuerzos, los modelos empleados en la actualidad tienen enormes limitaciones, ya que primero hace falta darles más información, como lo es la distribución del vapor de agua real en toda la tierra, información con la que no se cuenta y cuál es el incremento observado en los últimos años; el intercambio real de CO₂ entre la atmósfera y los océanos cuando en éstos varía la temperatura. Los modelos también deben de ser capaces de ubicar los sistemas meteorológicos de escala sinóptica y pronosticar cuanto tiempo pueden afectar una región determinada, para pronosticar eventos meteorológicos o climatológicos extremos.

Sin lo anterior, el margen de incertidumbre es enorme, aunque el peligro pueda ser real, pero el problema es definirlo... ¿Dónde, cuándo y con qué intensidad?

Todavía se está muy lejos de poder realizar un pronóstico climatológico aceptable a largo plazo; sin embargo, se

trata de tomar decisiones muy importantes con ellos. ¿Es correcto hacerlo? Desgraciadamente, no se cuenta con algo mejor.

Después de ver los mapas de anomalías de temperatura en el estado de Zacatecas, la pregunta que sale de inmediato es: si el CO₂ es el causante de calentamiento global y este gas se distribuye uniformemente en la Tierra durante un periodo de tiempo de alrededor de año o menos en el hemisferio norte, ¿por qué en Zacatecas hay regiones donde hay claramente una anomalía negativa? ¿Por qué pasa lo mismo en otras regiones del planeta?

Después de haber tratado de exponer muy brevemente algunas de los puntos más significativos sobre el cambio climático, es necesario hacer otras consideraciones.

Ciertamente, el peligro existe y la inactividad al respecto puede ser contraproducente, sea o sea antropogénico su origen. Sin embargo, muchas preguntas salen de inmediato. Se sabe que el asunto del cambio climático es un asunto

31 *A. BARRIE PITTOCK, SECOND EDITION CLIMATE CHANGE The Science, Impacts and Solutions*

to importante; sin embargo, el tema de una distribución más equitativa de la riqueza es fundamental. Desde luego, este es un problema sumamente complejo, envuelto con una serie de intereses con índoles muy diversas, pero si no se hace algo al respecto y se ayuda de manera eficaz a los países subdesarrollados, éstos consumirán buena parte de sus recursos naturales, acabando con diversas especies y emitiendo al ambiente gases de todo tipo, porque se busca simplemente la supervivencia. Además debe de tenerse en cuenta que la atmósfera no tiene fronteras, ni políticas, ni ideológicas, ni religiosas, por lo que, lo que cada país haga en su superficie, afecta a todo el planeta.

Otro problema no importante, sino urgente es la sobrepoblación. Mientras no se combata este problema, el cambio climático tanto local como regional, seguirá incrementándose, ya que todo nuevo ser que nace en este planeta necesita alimentos y energía de diversos tipos para su subsistencia a lo largo de toda su vida y la Tierra será el único lugar donde lo pueda obtener, por lo que poco a poco se irán acabando los recursos y el ser humano continuará invadiendo todos los lugares habitables del planeta y extinguiendo muchas especies de todo tipo, por la invasión y destrucción de muchos ecosistemas. Sin embargo, poco

A nivel Nacional el problema se complica todavía más, ya que primeramente, la distribución de la riqueza se puede apreciar en la gráfica 6.12³² en donde se puede observar que de la población económicamente activa: 42,699,671 de personas, únicamente el 4.2 % de la población recibe más de 10 salarios mínimos, mientras que el 38.7 % de la población gana menos de 2 salarios mínimos. Esta muestra un ejemplo claro en que el problema principal de esta parte de la población está en simplemente vivir como se pueda y aunque se tenga o no conciencia de los problemas ambientales, el reto es sobrevivir.

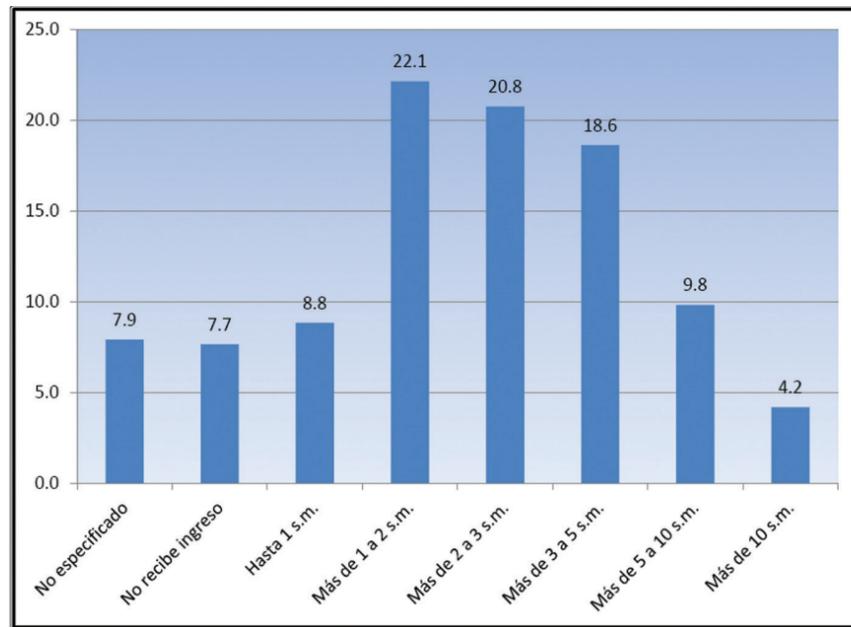


Figura 6.12 Ingresos por habitante en salarios mínimos

32 INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del Cuestionario Ampliado. Fecha de elaboración: 11/05/2011 Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso por trabajo en salarios mínimos (s.m.)

se habla de esto, ni se hacen congresos para tratar este problema urgente, en el cual cada país debe de tratar de buscar soluciones y se comprometa realmente a solucionar este problema real.

Mientras no se combatan estos dos enormes problemas continuará la extinción especies de todo tipo; la afectación a la población por fenómenos meteorológicos y climatológicos extremos debido asentamientos en zonas cada vez más vulnerables; continuará el incremento de gases de efecto invernadero. Aquí no hay probabilidades con cierto margen de incertidumbre, esto es una realidad dura, pero del aquí y del ahora. La sobrepoblación es una amenaza real, a tal punto, que si se quisiera dar ahora, a toda la población mundial una vida de primer mundo, todos los recursos disponibles en la Tierra ya no son suficientes. La solución ciertamente es la concientización sobre toda esta problemática y para ello se necesita educación, mucha educación. Sin embargo, para que haya educación se necesita satisfacer las necesidades básicas y mientras estas no se cumplan, no habrá educación posible. Sin duda todo esto es un problema sumamente complejo, en el cual todos los sectores de los países deben de participar, para lograr un futuro mejor en nuestra Madre Tierra.

El otro difícil problema es la dependencia económica que tiene México con el petróleo. En la gráfica 6.13³³ se puede apreciar esta cuestión claramente. Aquí se muestra el porcentaje en cuanto a los ingresos netos del producto interno bruto (PIB), en relación con los productos petroleros. El porcentaje varía entre 30 y 35% del PIB, eso significaría que si se tratara de cumplir la reducción de emisiones por productos derivados del petróleo, de acuerdo al IPCC en un 30% o inclusive hasta un 60%, los ingresos netos de México podrían ser afectados en un 10% o más. Imaginar la reducción en todos los programas nacionales en un 10% sería un impacto muy fuerte, dadas las condiciones de pobreza que presenta nuestro país. Por tal motivo, se requiere mucho sentido común al discutir sobre el aplicar sanciones a países con alto grado de emisiones de CO₂, ya que México se ubica entre los lugares del 10 al 13 a nivel mundial variando según la fuente y la última actualización. El problema es realmente complejo para nuestro país.

Desde luego, estos breves comentarios pretenden dar una idea de lo complejo que es este tema del cambio climático dirigido hacia un calentamiento global, ya que involucra a toda la sociedad en su conjunto.

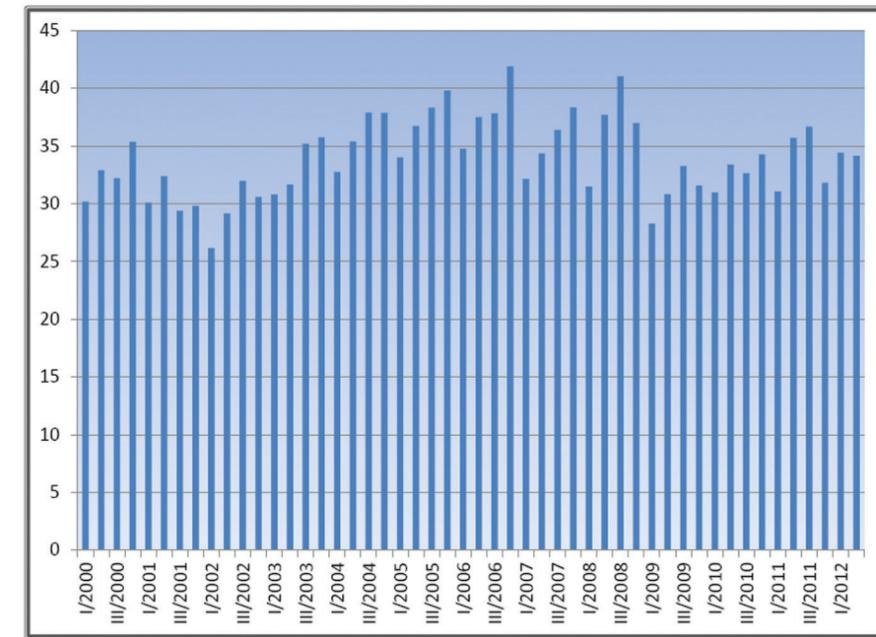


Figura 6.13 Ingresos obtenidos por productos petroleros en porcentaje con respecto al producto interno bruto.

Soluciones, desde luego hay muchas, pero éstas van más allá del propósito de este libro, aunque estaría bien recordar las palabras de Serge Latouche, Profesor Emérito de Economía, Universidad de París:

“Quien crea que un crecimiento ilimitado es compatible con un planeta limitado, o está loco o es un economista, el drama es que ahora todos somos economista”.

33 Fuente: Área: Dirección General Adjunta de Estadística de la Hacienda Pública. Unidad de Planeación Económica de la Hacienda Pública.

Capítulo VII

Cambio climático en
Zacatecas



7.1 Procedimiento para la elaboración de mapas de tendencias

Ahora se procederá a mostrar los resultados acerca de qué es lo que está pasando con el clima en el estado de Zacatecas. Para hacer este estudio se tomaron los dos elementos del clima más utilizados, que son la temperatura y la precipitación. Para hacer este estudio primero se reunió toda la información de todas las estaciones que cumplieran con las normales de 30 años, de 1981 a 2010. Posteriormente, se hicieron las curvas de tendencias que en todos los casos se aplicó el criterio de tendencia o regresión lineal. A continuación se obtuvo por cada estación el valor mensual y anual de las tendencias, las que finalmente se concentraron en un archivo de Excel para que el programa Surfer hiciera el trazado de isolíneas y con ello tratar de comprobar si la tendencia tenía una relación con las estaciones que se encontraban en sus alrededores y el resultado se muestra a continuación, en donde se pueden apreciar zonas en el estado, bien definidas, donde la temperatura está aumentando o disminuyendo, así como regiones donde la precipitación está disminuyendo o incrementándose y en qué meses del año.

Al observar estos mapas hay que tener en cuenta que ellos muestran las variaciones que ha tenido el clima en

Zacatecas en los últimos 30 años. Está basado, en el caso de precipitación en la información de 80 estaciones y dos observatorios meteorológicos que cumplen con los requisitos previamente mencionados por la OMM.

Para el caso de las temperaturas, la información es más limitada, así que nada más se cuenta con 47 estaciones, sin embargo los resultados son satisfactorios, aunque desde luego, a medida que el historial de las estaciones se incrementa, se aconseja realizar nuevamente este estudio.

Cuando se realice el análisis de las precipitaciones mes por mes, hay que tener en mente la tabla 7.1.1, en ella se muestran los promedios de los datos históricos obtenidos de todas las estaciones en Zacatecas en mm, en % con respecto a la media anual. Asimismo se presenta un dato muy importante y es que durante la temporada de lluvias de junio a septiembre se capta el 77.5 % de la precipitación anual. La figura 7.1.1 muestra la distribución mensual de la precipitación y la figura 7.1.2 presenta esta misma información pero expresada en % de manera gráfica para poder entender mejor el comportamiento de esta variable muy importante.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
TOTAL EN mm	16.3	12.0	4.0	5.5	18.0	73.8	112.7	106.7	87.6	33.9	9.8	10.9	491.1
TOTAL EN %	3.3	2.4	0.8	1.1	3.7	15.0	22.9	21.7	17.8	6.9	2.0	2.2	100.0

La temporada de lluvias de junio a septiembre representa el 77.5% de la lluvia anual

Tabla 7.1.1 Precipitaciones mensuales históricas con porcentajes

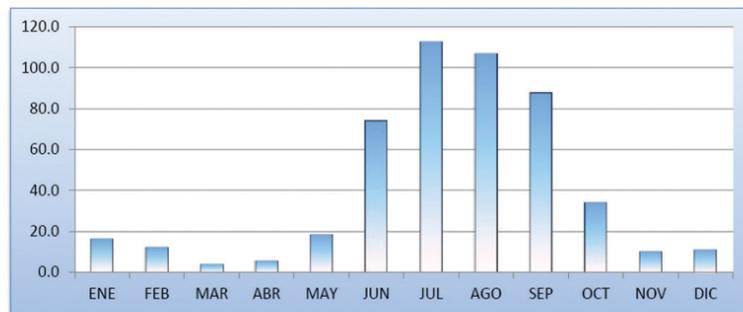


Figura 7.1.1 Precipitaciones mensuales históricas



Figura 7.1.2 porcentaje de precipitaciones mensuales

7.2 Tendencia de la temperatura

En seguida se muestran los mapas con las tendencias de temperaturas. Se muestran todos los mapas, los cuales consisten en:

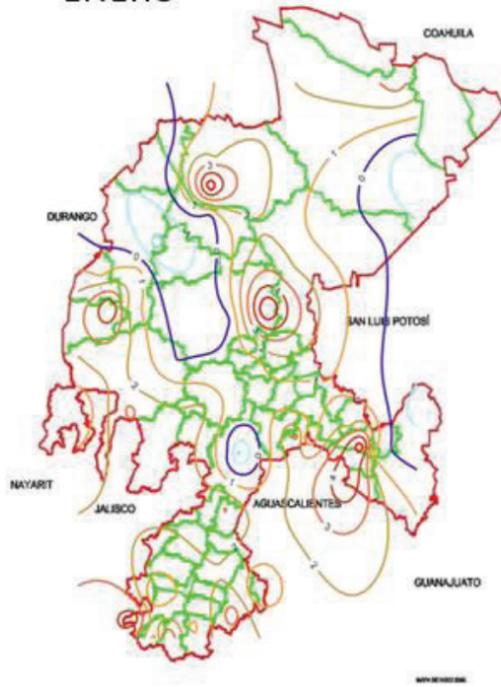
- 12 mapas mensuales con las tendencias de las temperaturas máximas.
- 12 mapas mensuales con las tendencias de las temperaturas medias.
- 12 mapas mensuales con las tendencias de las temperaturas mínimas.
- 1 mapa con las tendencias anuales de temperatura máxima.
- 1 mapa con las tendencias anuales de temperatura media.
- 1 mapa con las tendencias anuales de temperatura mínima.

Para no dar una explicación muy amplia para cada mapa, lo cual extendería mucho el presente documento, únicamente se dará una explicación resumida de cada figura que consiste en 4 meses de análisis.

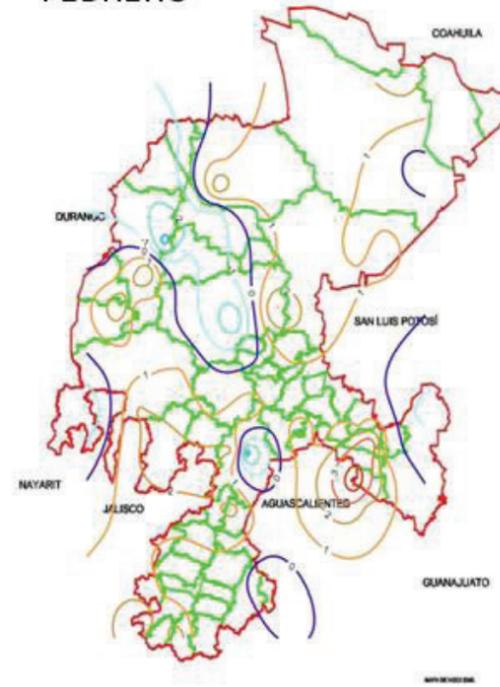
La figura 7.2.1 muestra la tendencia de las temperaturas máximas de los meses de enero a abril. En ellas se puede observar que los municipios del noroeste, oriente de Mazapil, parte de Fresnillo y Villanueva principalmente presentan una disminución en las temperaturas máximas, mientras que el resto de la entidad muestra un aumento en las temperaturas máximas.



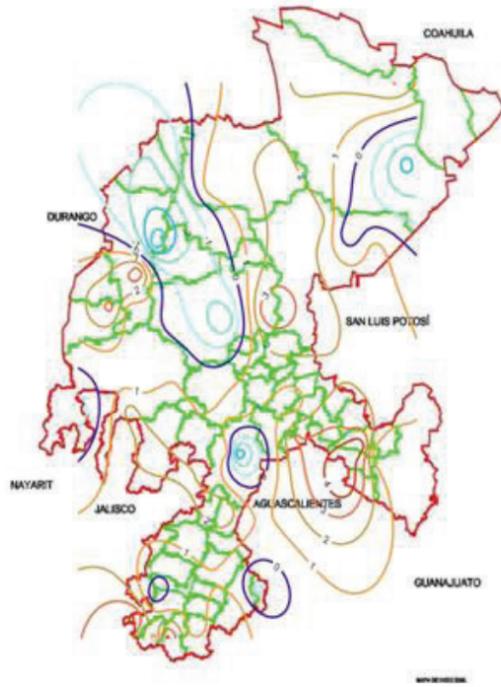
ENERO



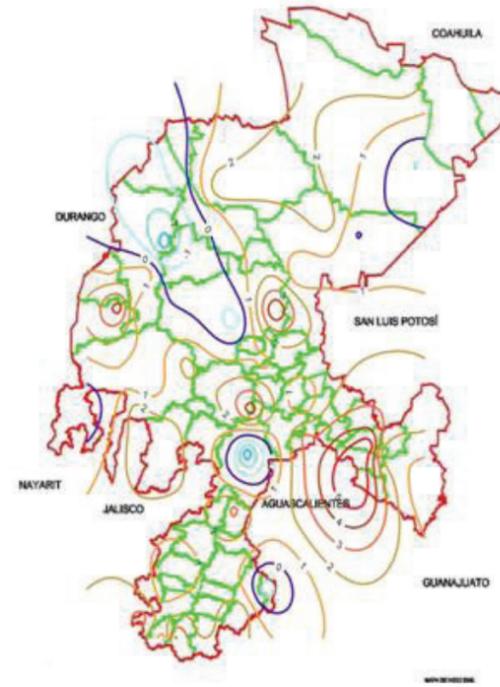
FEBRERO



MARZO



ABRIL

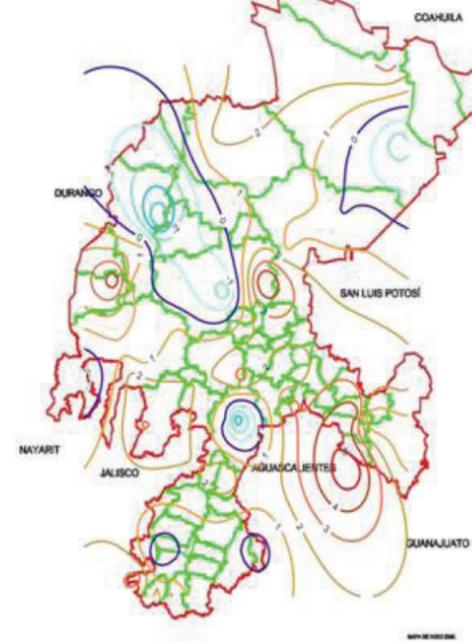


TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS

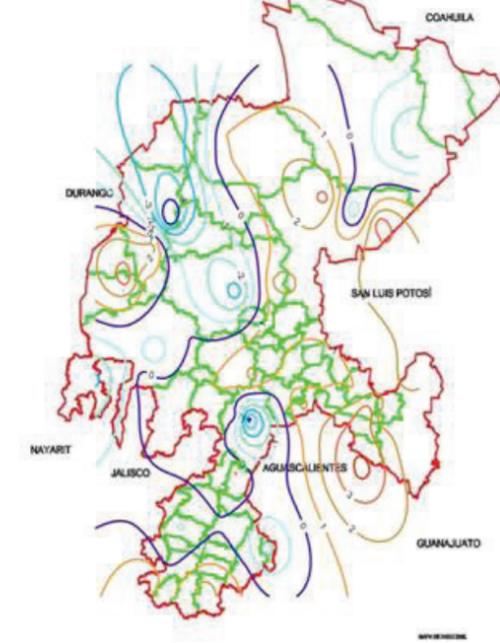
Figura 7.2.1 Tendencias de temperaturas máximas 1

La siguiente figura 7.2.2 muestra un patrón similar al de los meses anteriores, los cuales muestran un aumento en las temperaturas máximas en la mayor parte del estado, aunque junio presenta un área un poco mayor de regiones azules, lo cual indica que se incrementa el área con tendencia a disminuir la temperatura mínima.

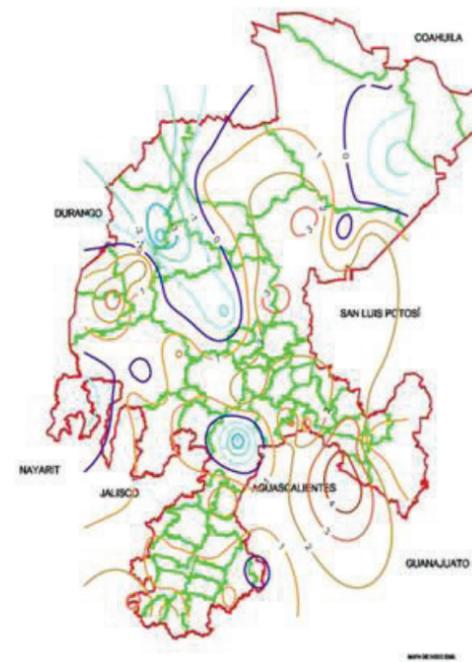
MAYO



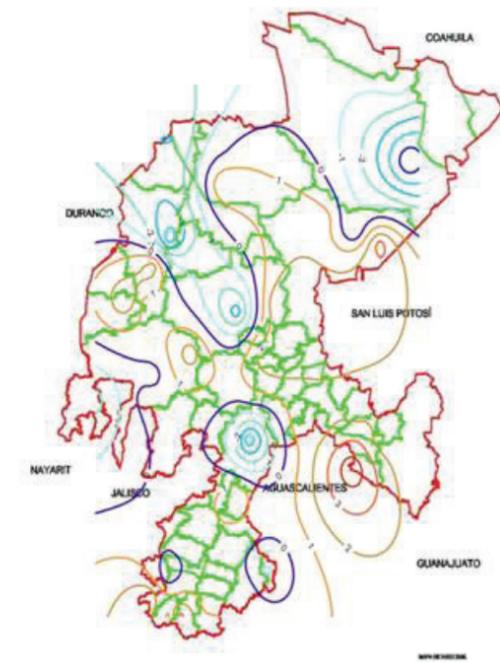
JUNIO



JULIO



AGOSTO



TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS

Figura 7.2.2 Tendencias de temperaturas máximas 2



Con respecto a los 4 meses finales, figura 7.2.3, se puede observar que permanecen las mismas tendencias, aunque las áreas de ambas tendencias casi son iguales.

Durante los 4 primeros meses del año, las tendencias de las temperaturas medias, figura 7.2.4 muestran un patrón similar al de las temperaturas máximas. Cabe resaltar que en marzo se presenta una anomalía negativa en el oriente del municipio de Mazapil y Fresnillo.

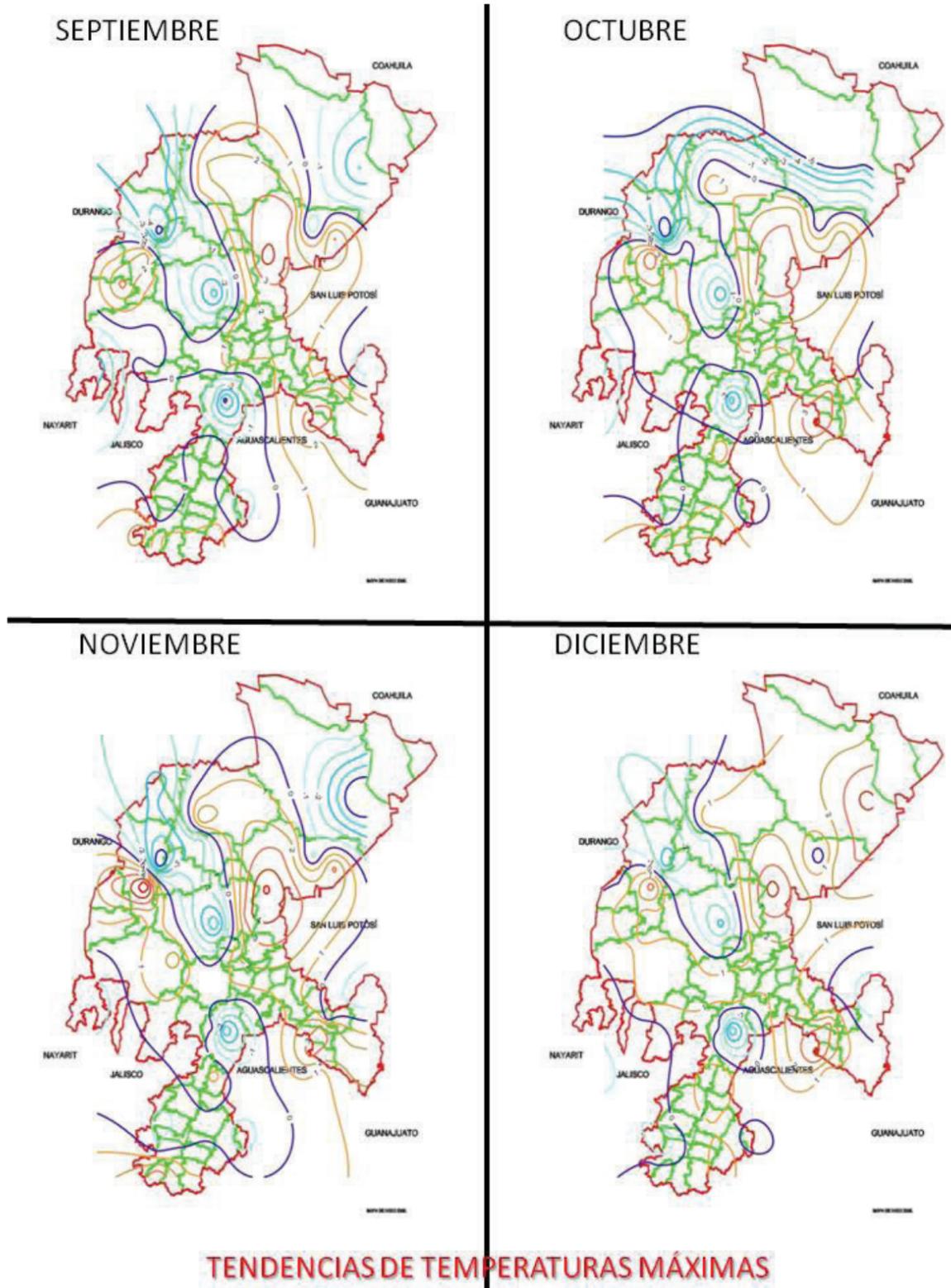


Figura 7.2.3 Tendencias de temperaturas máximas 3

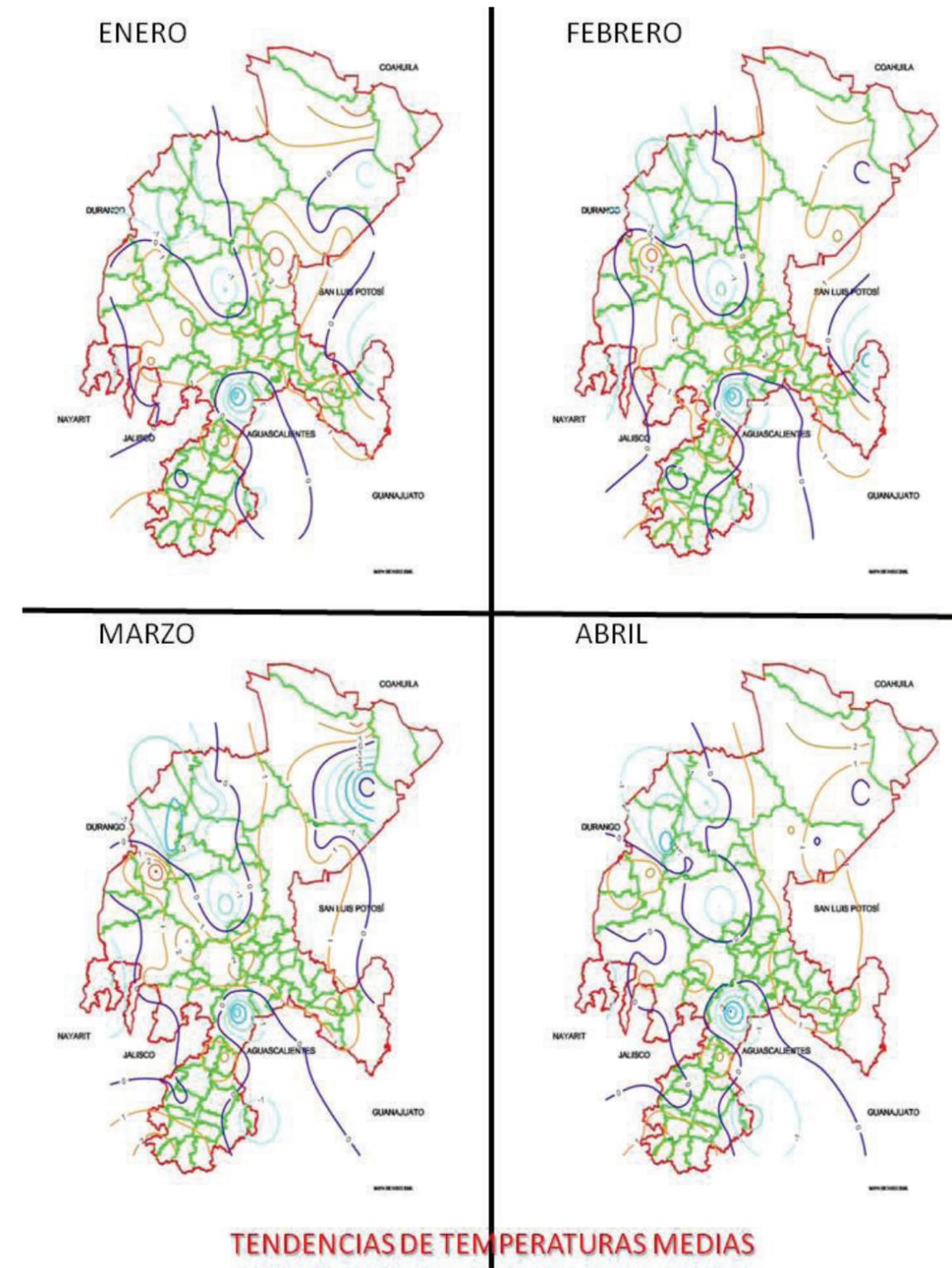


Figura 7.2.4 Tendencias de temperaturas medias 1



La figura 7.2.5 muestra el mismo patrón, lo cual indica que estas tendencias muestran un patrón consistente y bien definido.

La figura 7.2.6 presenta el mismo patrón mostrado en los meses anteriores.

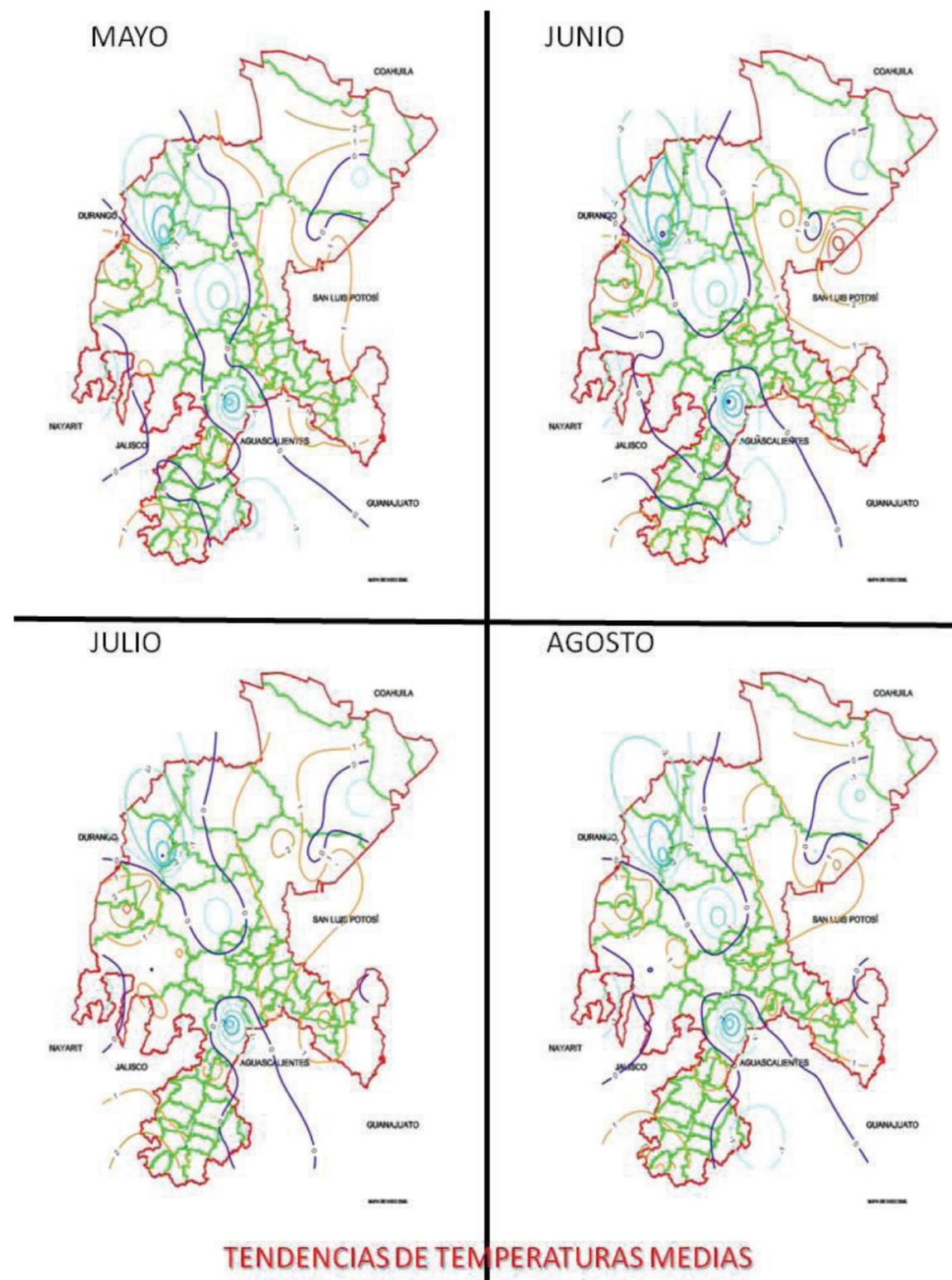


Figura 7.2.5 Tendencias de temperaturas medias 2

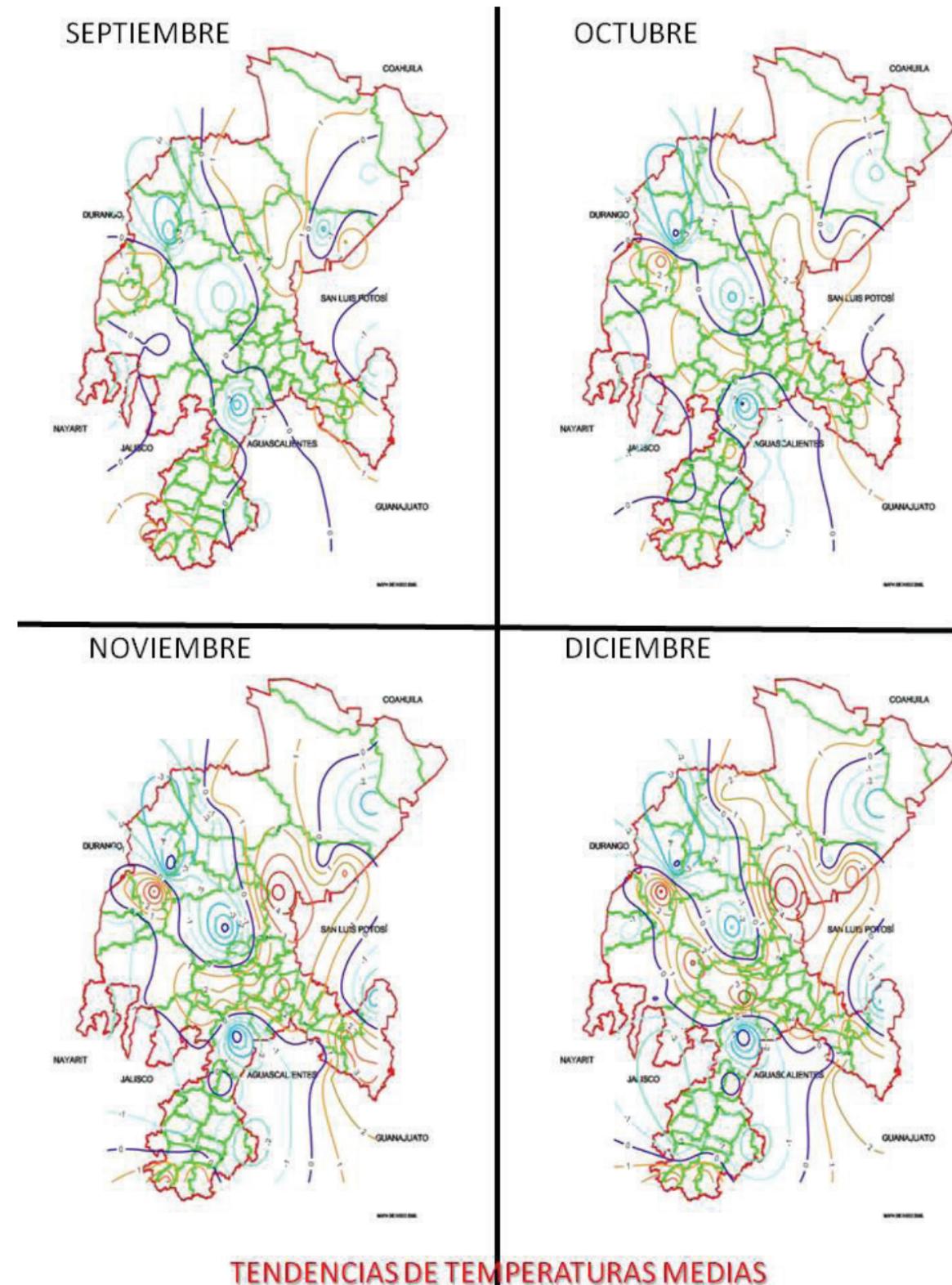


Figura 7.2.6 Tendencias de temperaturas medias 3



Con respecto a la tendencia de las temperaturas mínimas se pueden observar casi el mismo patrón, con excepción de que el área con anomalía negativa está aumentando en los municipios del suroeste. Figura 7.2.7

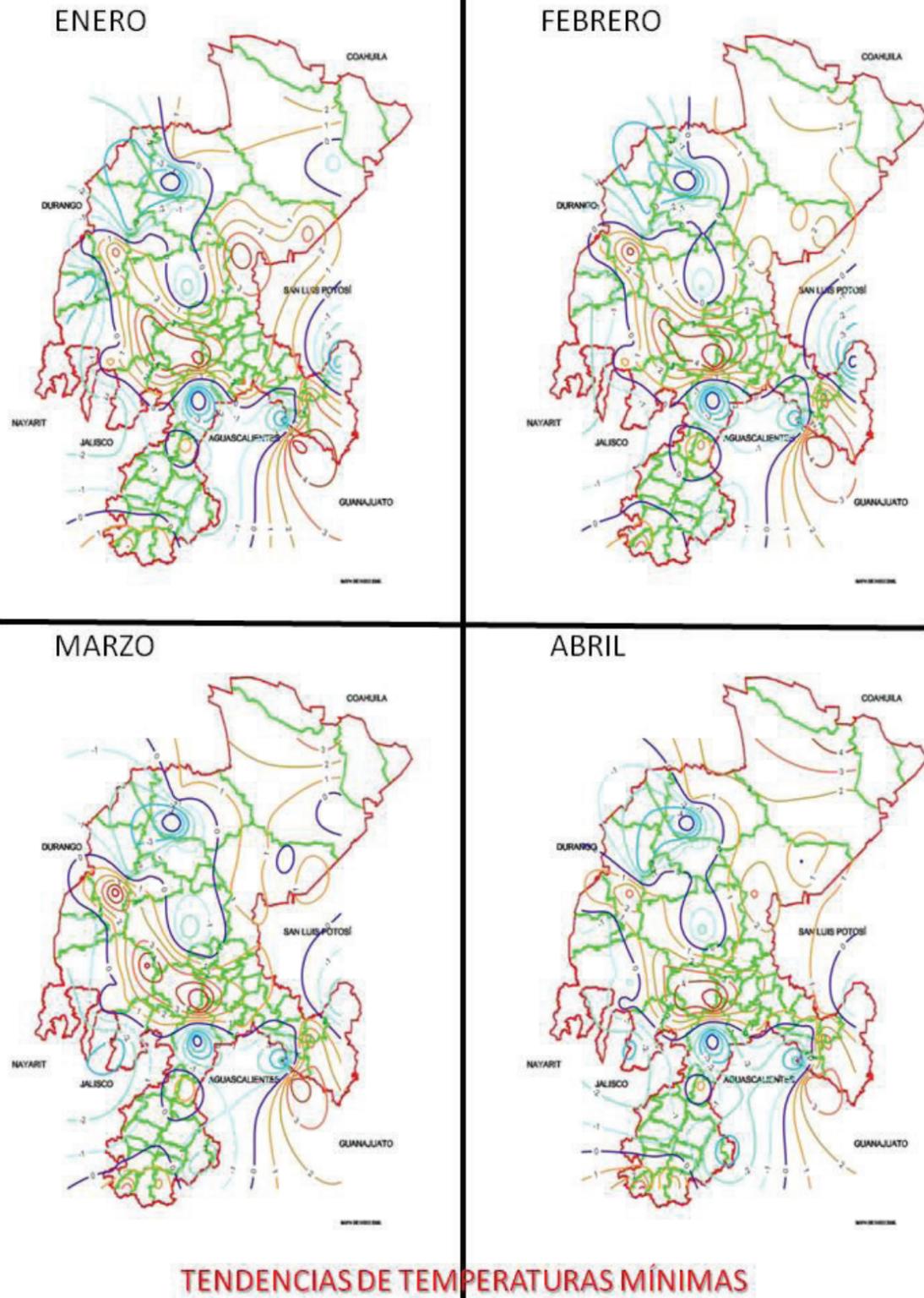


Figura 7.2.7 Tendencias de temperaturas mínimas 1

La siguiente figura 7.2.8 muestra que la región de Valparaíso, con anomalía negativa disminuyó en intensidad y cobertura.

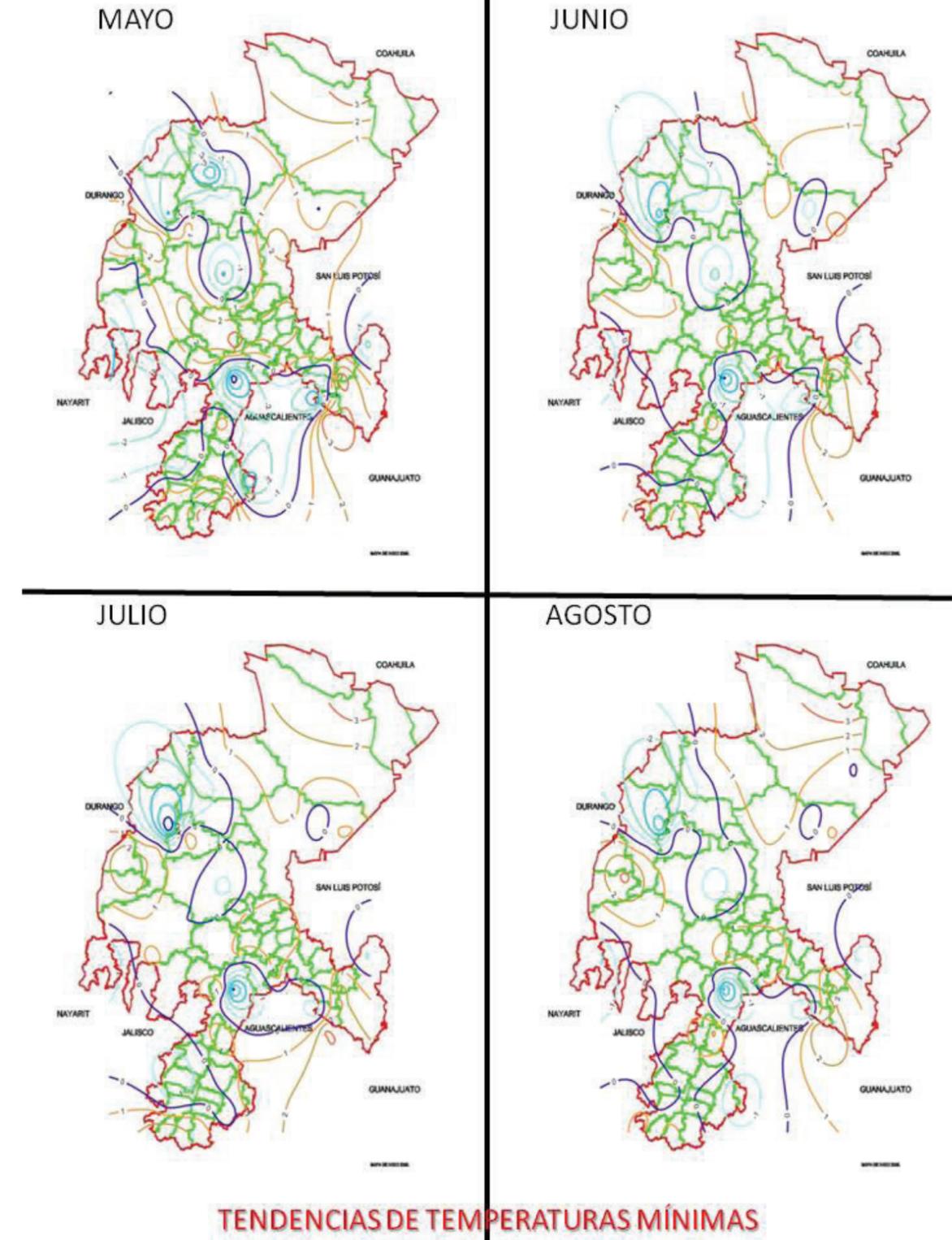


Figura 7.2.8 Tendencias de temperaturas mínimas 2

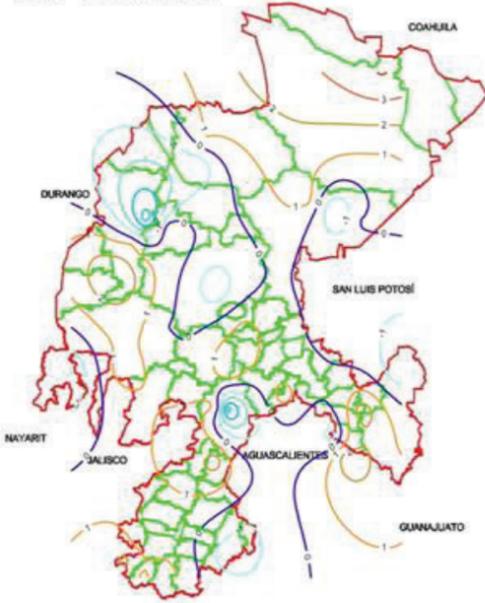


Finalmente, la figura 7.2.9 permite observar varios cambios importantes. La anomalía negativa ahora se ha extendido al suroeste de la entidad y a la región de los cañones y en Villanueva se ha incrementado esta anomalía negativa considerablemente. Estas regiones se están haciendo cada vez más frías a lo largo de estos 30 años de estudio. ¿Por qué el área de anomalía negativa ha aumentado? Sin embargo en el centro de la entidad se observa una región donde las temperaturas mínimas han aumentado considerablemente.

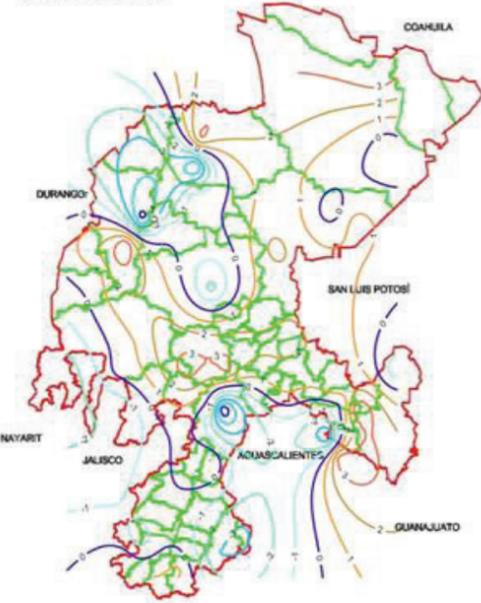
Para finalizar se resumirá con las anomalías anuales, lo que está pasando en la entidad con los cambios en la temperatura.

La figura 7.2.10 muestra el mismo patrón bien definido. Las temperaturas máximas están disminuyendo en el noroeste, Fresnillo, oriente de Mazapil, Villanueva y suroeste de Valparaíso.

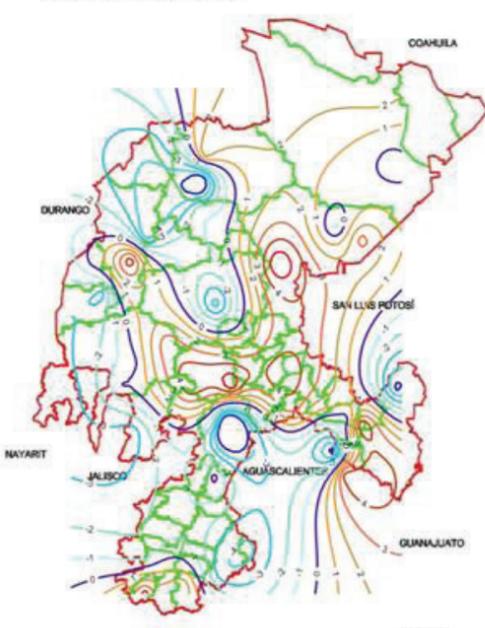
SEPTIEMBRE



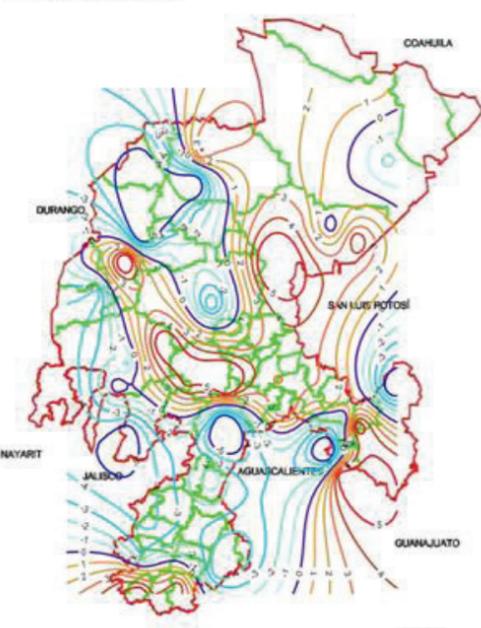
OCTUBRE



NOVIEMBRE

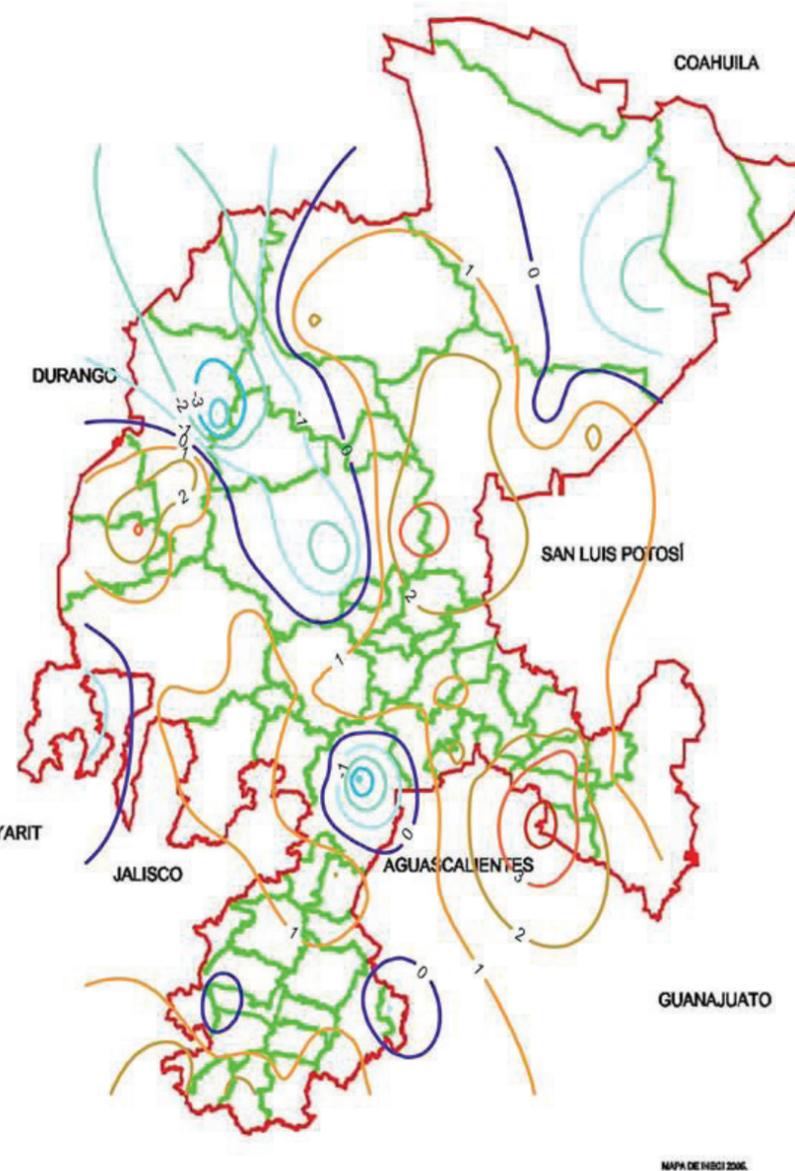


DICIEMBRE



TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS

Figura 7.2.9 Tendencias de temperaturas mínimas 3

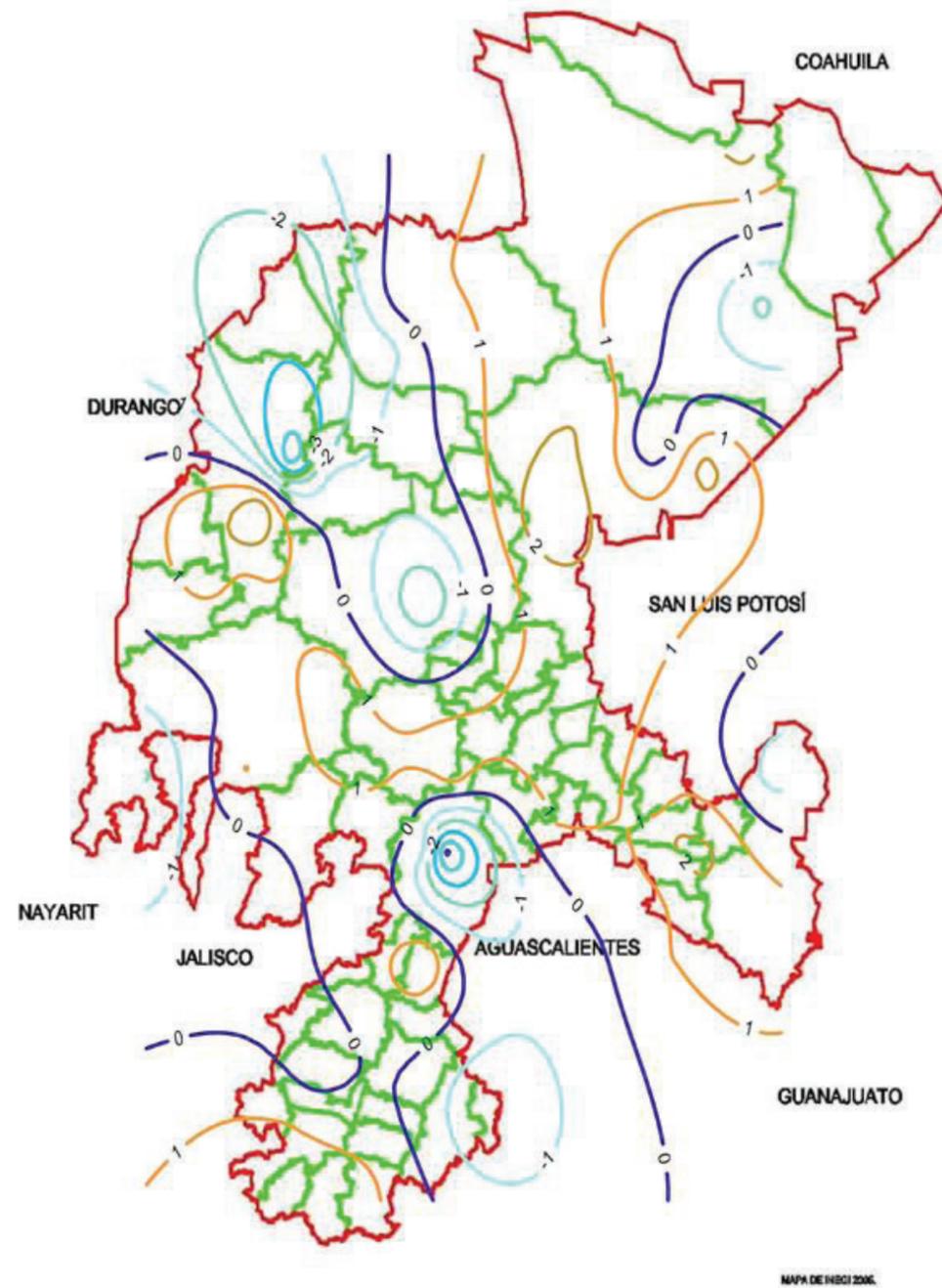


TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS ANUALES

Figura 7.2.10 Tendencias de temperatura máxima anual



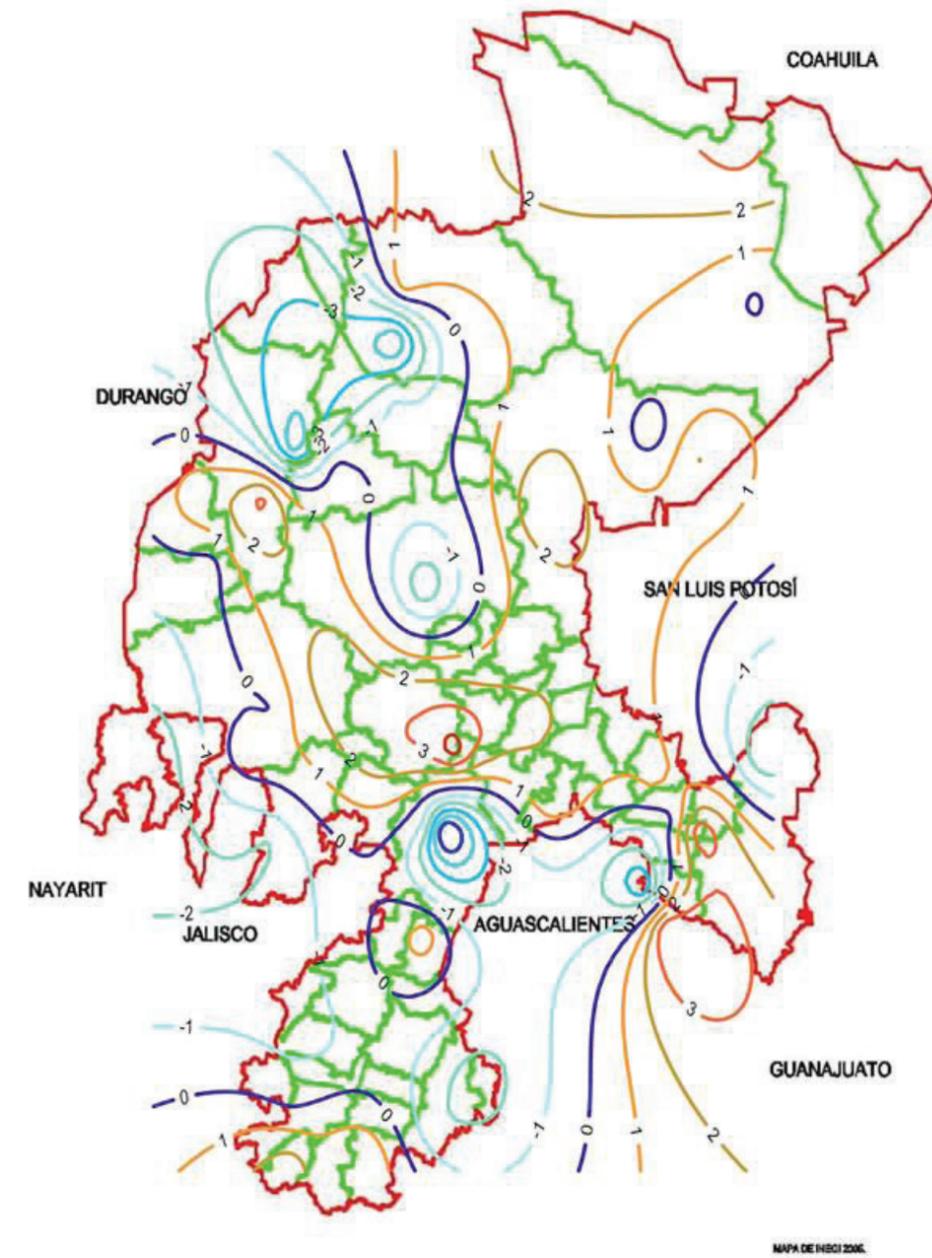
En cuanto a las anomalías anuales de temperaturas medias, éstas están disminuyendo en estas regiones, mientras que están aumentando en el resto de la entidad, lo cual se puede observar claramente en la figura 7.2.11.



TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES

Figura 7.2.11 Tendencias de temperatura media anual

La figura siguiente 7.2.12 muestra exactamente el mismo patrón, únicamente que el área negativa aumentó en el municipio de Valparaíso y Monte Escobedo, así como en el norte de Pinos y disminuyó en Mazapil. En el centro del estado se observa un área donde la temperatura mínima ha estado aumentando en los últimos años.



TENDENCIAS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS ANUALES

Figura 7.2.12 Tendencias de temperatura mínima anual

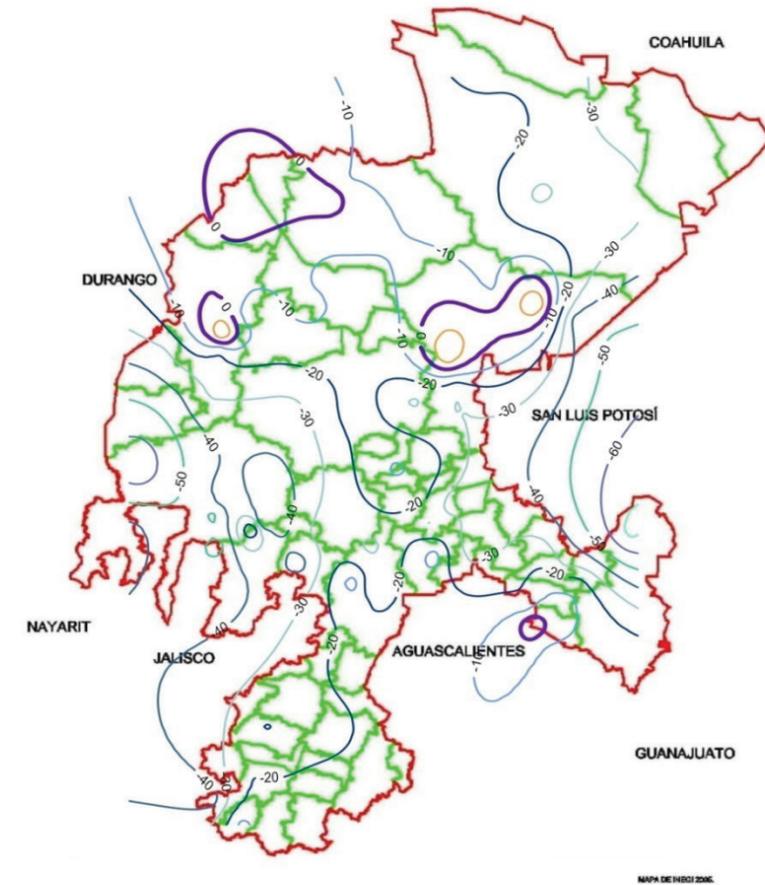


7.3 Tendencia de la precipitación

La precipitación es un elemento fundamental cuando se aplica al clima y sobre todo en el estado de Zacatecas, ya que más del 80 % del estado tiene clima semidesértico.

Debido a su importancia, a continuación se explicará mes por mes, la tendencia que ha presentado este elemento a lo largo de estos 30 años de estudio en el estado.

La figura 7.3.1 presenta la tendencia de la precipitación en enero, en ella puede observarse lo que todo campesino ha visto en los últimos años y es la reducción muy importante de precipitaciones durante este mes, únicamente pequeñas y dispersas regiones del estado mostraron una tendencia positiva. En general se puede afirmar que más del 90% del estado mostró una disminución en las precipitaciones en este mes.



En resumen, el estado de Zacatecas muestra unos cambios importantes en el comportamiento de las temperaturas. La mayor parte de la entidad presenta un aumento en todas las temperaturas, sin embargo, la región del noroeste de la entidad, así como Fresnillo y Villanueva, presentan una disminución importante y no son datos puntuales, son varios datos que confirman esta dirección de las temperaturas. Asimismo, la región centro del estado muestra un importante aumento.

Para tratar de explicar esta situación hace falta un estudio más extenso, en donde se tomen en cuenta todas las posibles causas, como pueden ser entre otras: cambio de uso del suelo, sistemas meteorológicos que han afectado al estado, sensores para medir los gases de efecto invernadero, etc. Empero, mientras se hace este estudio, es necesario tratar de amortiguar los efectos negativos de estas tendencias.

En el caso donde se presentan regiones con tendencias negativas de temperaturas mínimas, el riesgo consiste en la presencia de heladas tempranas y más intensas, así como riesgos en la salud de la población en general.

En el caso, donde se observa un incremento importante en las tendencias de temperaturas máximas, el riesgo consiste en que estas regiones son más vulnerables a la presencia de tormentas eléctricas intensas, las cuales pueden generar inundaciones importantes, con todo el peligro que este evento así representa.

En el capítulo siguiente se hará el resumen tomando en cuenta las dos variables principales, ésta la temperatura junto con la precipitación, cuyos mapas se presentan a continuación.

Figura 7.3.1 Tendencia de las precipitaciones durante enero



Durante el mes de febrero prácticamente todo el estado mostró una tendencia favorable en cuanto al aumento de precipitaciones, lo cual se puede observar en la figura 7.3.2. Sin embargo, la cantidad de lluvia que se presenta durante este mes es muy baja.

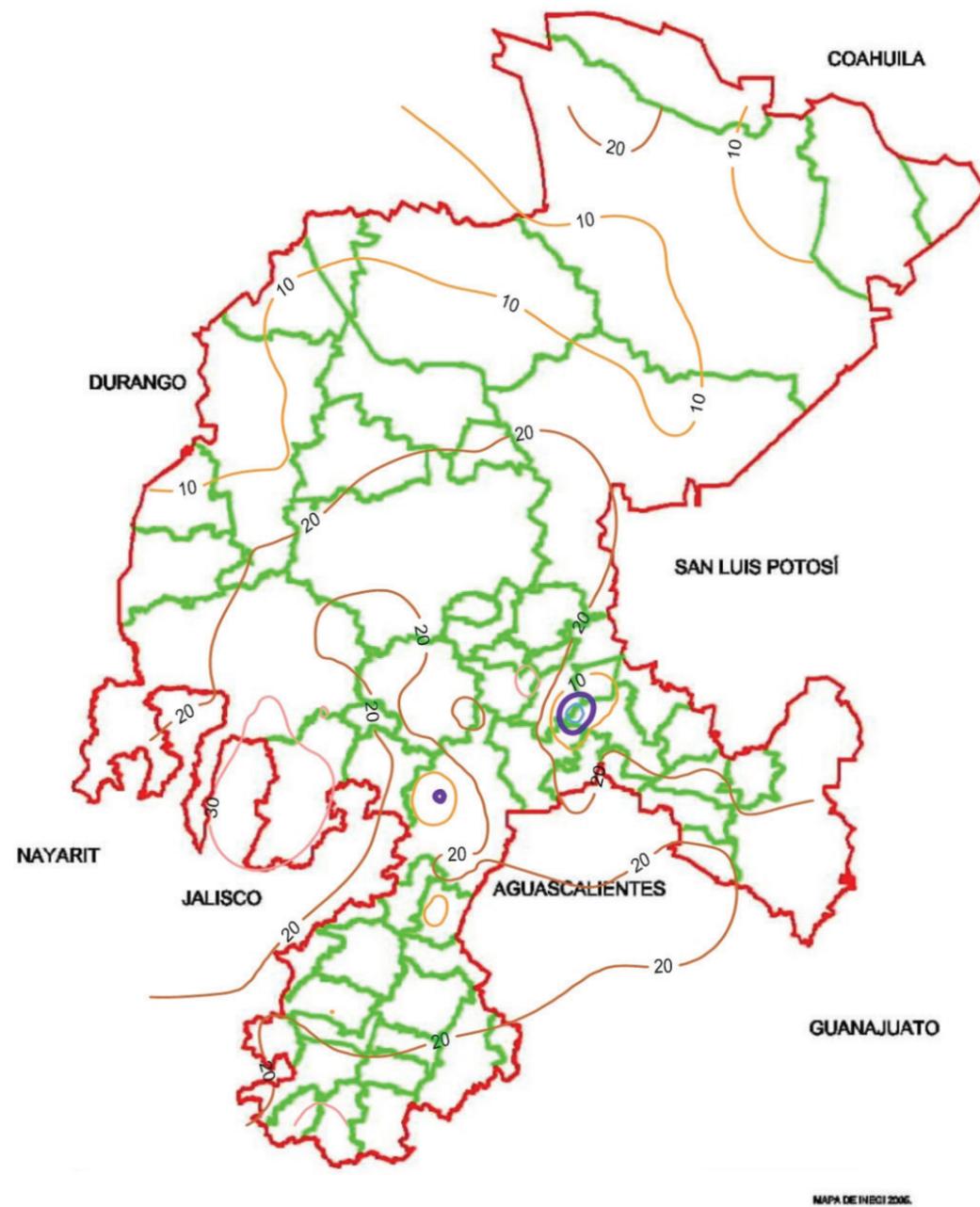


Figura 7.3.2 Tendencia de las precipitaciones durante febrero

Durante el mes de marzo no ha habido mucho cambio en las precipitaciones. Lo anterior se puede observar en figura 7.3.3. Cabe recordar que el mes de marzo es el mes donde las precipitaciones son las más bajas de todo el año.

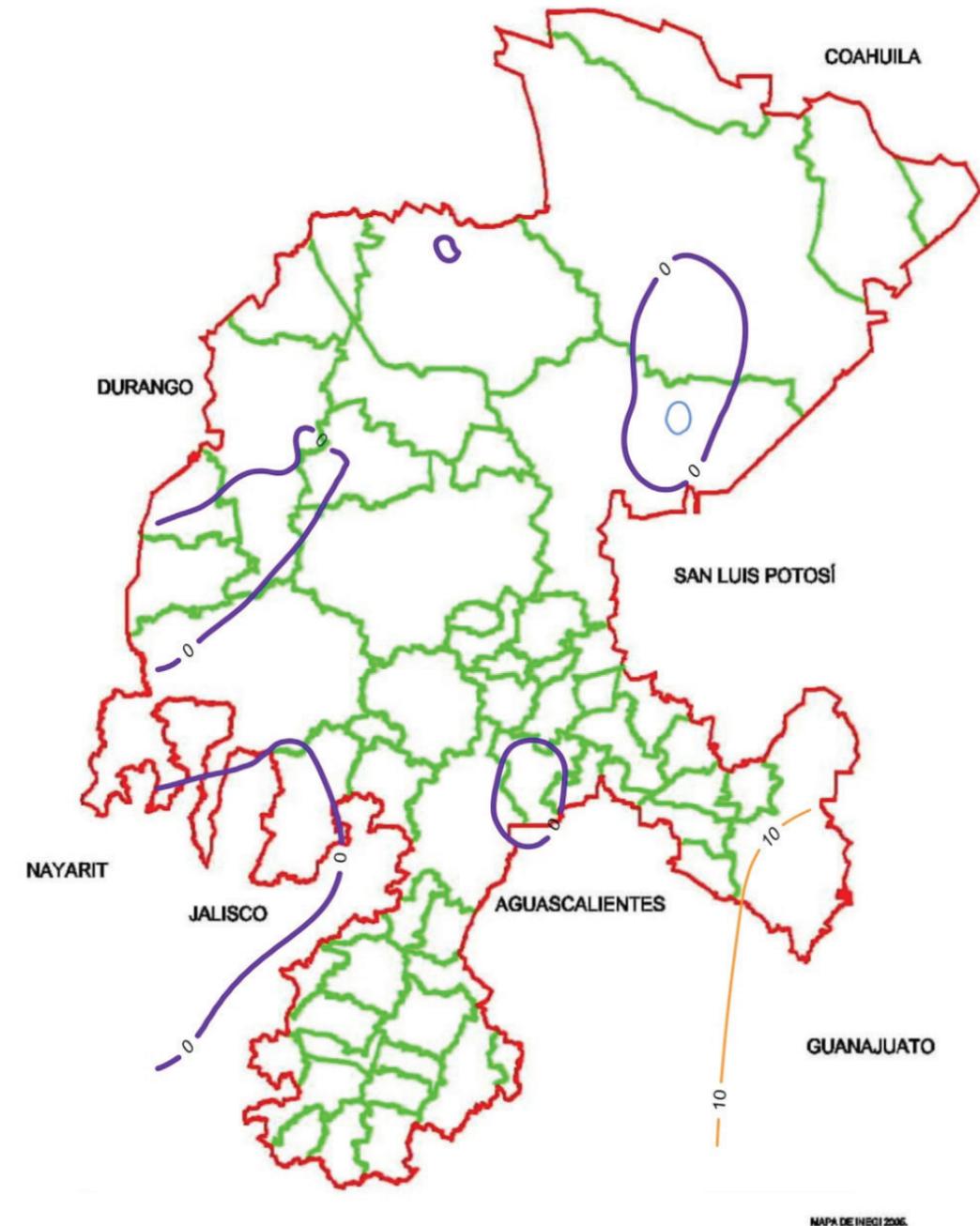


Figura 7.3.3 Tendencia de las precipitaciones durante marzo



Durante el mes de abril las tendencias muestran que el estado ha experimentado una disminución considerable de las precipitaciones en la mayor del estado, lo anterior se puede observar en la figura 7.3.4. El municipio de Pinos ha sido el más afectado, así como Villa de Cos

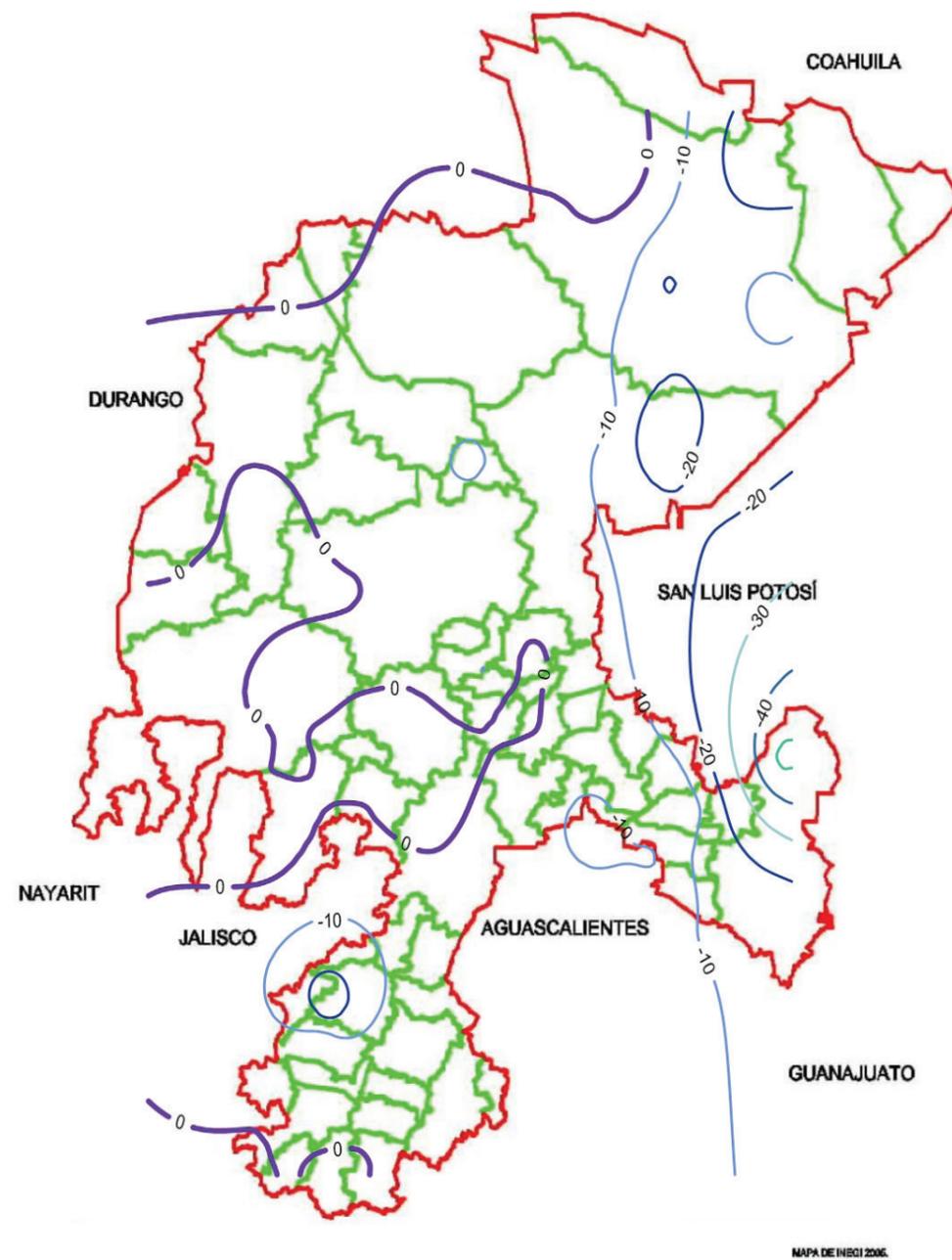


Figura 7.3.4 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de abril

Durante el mes de mayo la precipitación igualmente ha mostrado una disminución significativa en prácticamente el 90 % de la entidad, así se observa en la figura 7.3.5.

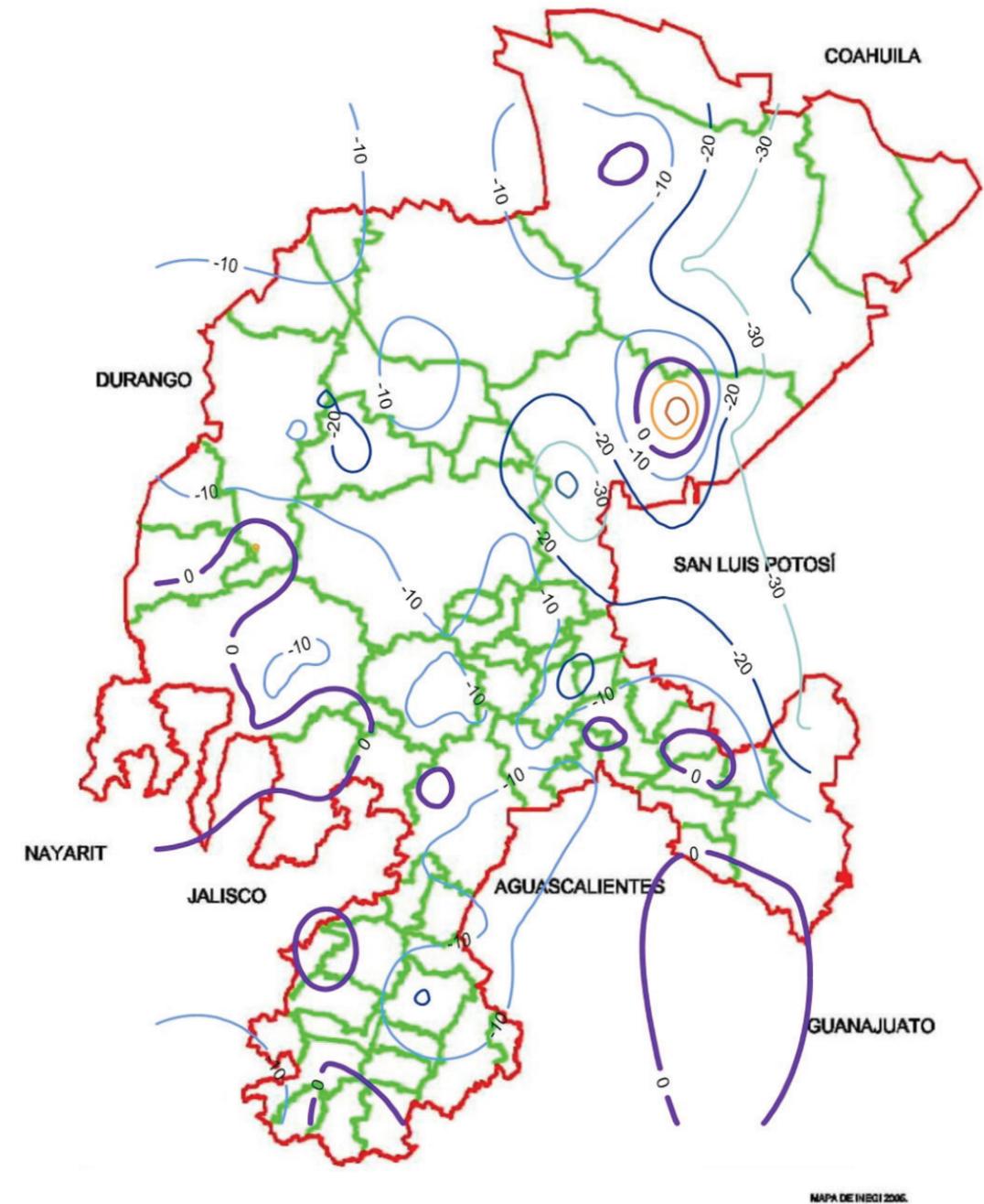


Figura 7.3.5 Tendencia de las precipitaciones durante mayo



En este mes se inicia la temporada de lluvias, ya que como se había mencionado con anterioridad, durante los meses de junio a septiembre se concentra el 77.5 % de la precipitación anual. Lo que se ha presentado durante estos últimos 30 años es una marcada desigual distribución de las lluvias. Los municipios más favorecidos han sido Villa de Cos y Monte Escobedo, mientras que Fresnillo, Sain Alto, norte de Pinos y al sur de la región de los cañones muestran una disminución en las precipitaciones, lo cual se puede observar en la figura 7.3.6.

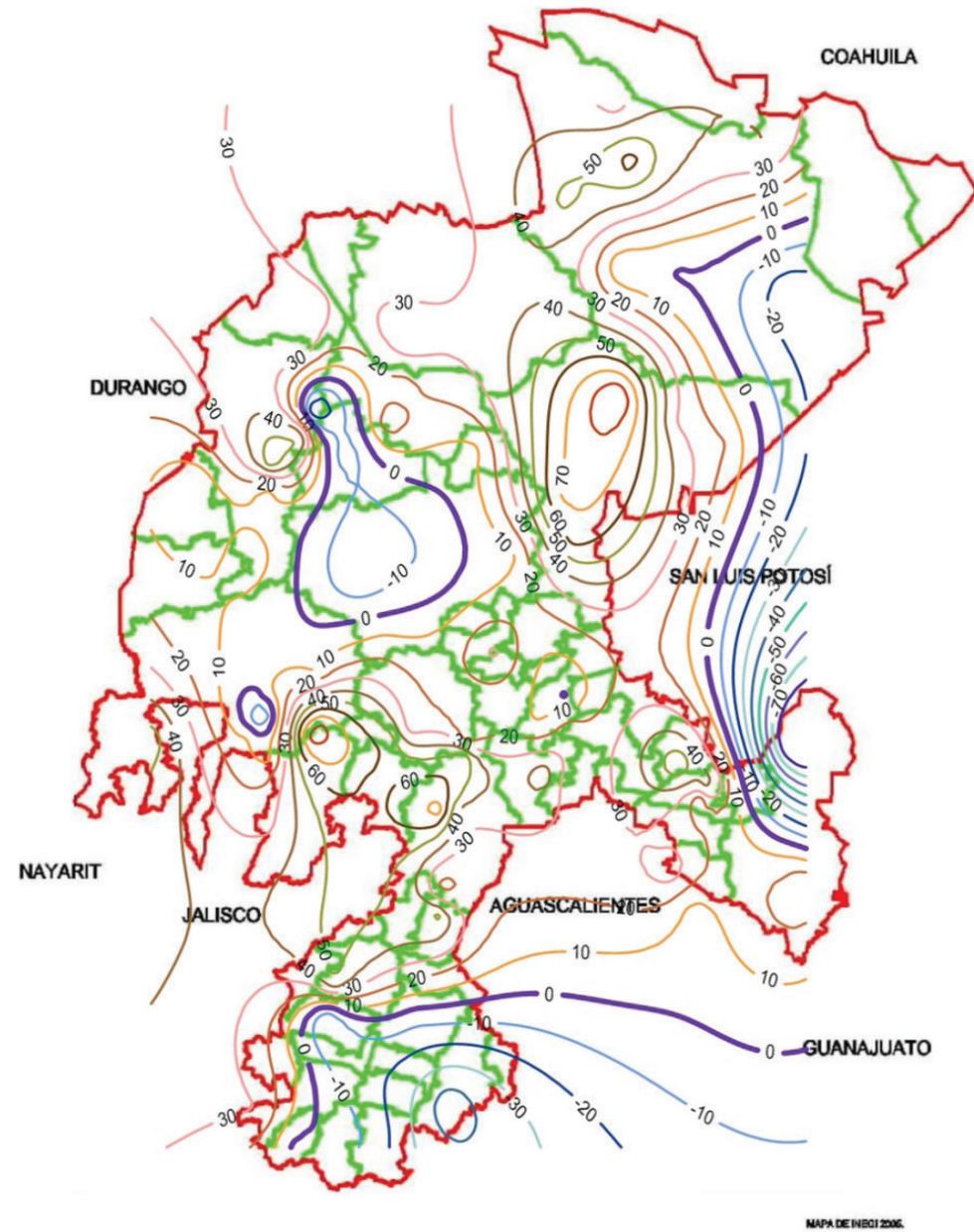


Figura 7.3.6 Tendencia de las precipitaciones durante junio

Julio es el mes más importante en cuanto a abundancia en las precipitaciones, ya que históricamente es el mes más lluvioso. Las tendencias para este mes muestran, al igual que junio una marcada desigual distribución en las lluvias. Los municipios de Fco. R. Murguía, Valparaíso y Jerez han sido los más afectados por la disminución en las precipitaciones, mientras que los más favorecidos son Villa de Cos, Mazapil y los municipios del centro del estado. Éstos se pueden apreciar en la figura 7.3.7.

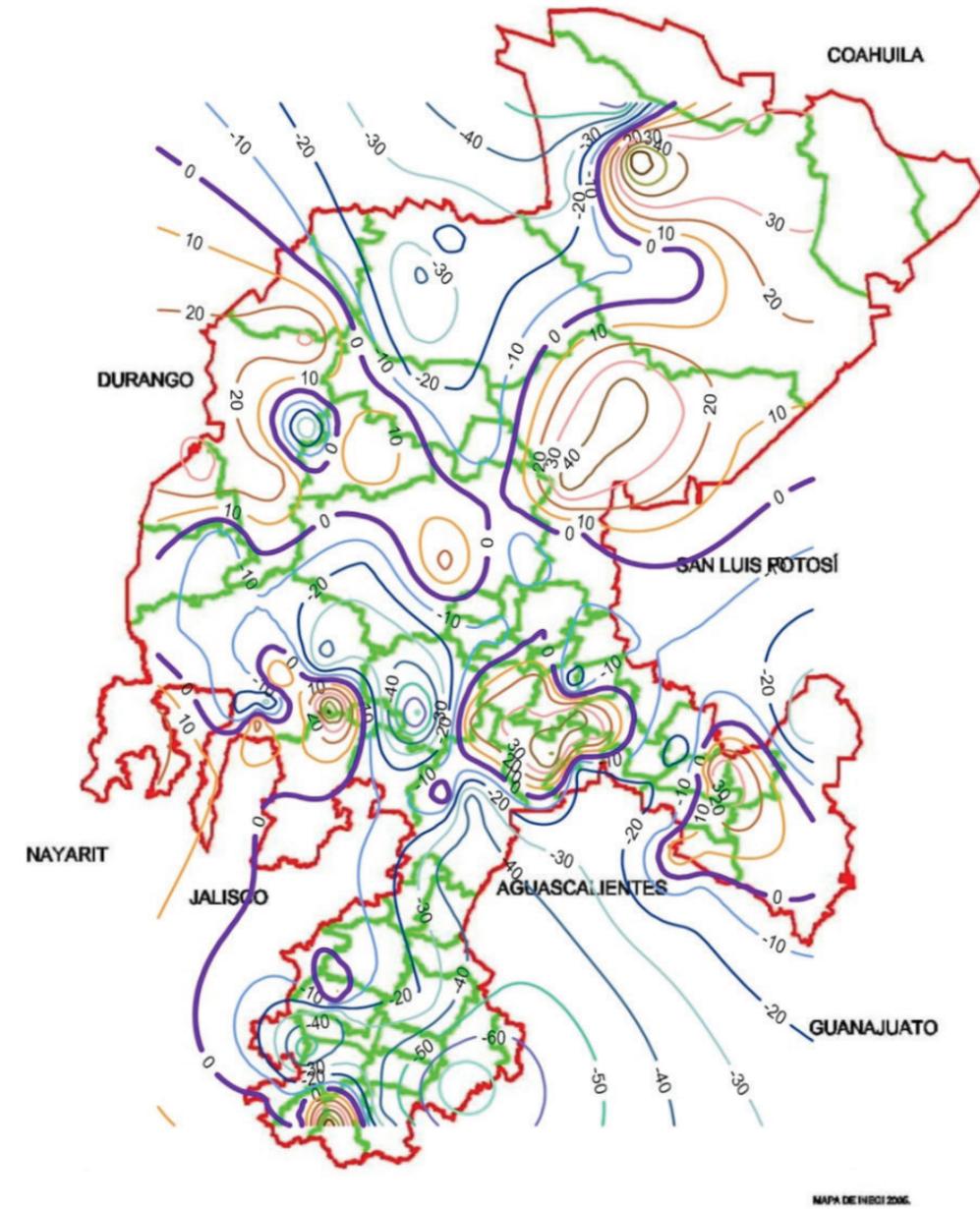


Figura 7.3.7 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de julio



El segundo mes históricamente en importancia por las precipitaciones abundantes es agosto. Sus tendencias en estos últimos 30 años mostrados permiten observar que las precipitaciones se repartieron de manera desigual en el estado. Los municipios más favorecidos han sido el norte de Mazapil, zona de los cañones, Valparaíso, Monte Escobedo, Villa de Cos y Fco. R. Murguía. Los municipios más afectados han sido Juan Aldama, Miguel Auza, Río Grande, Sombrerete y occidente de los municipios de Fresnillo y Sain Alto, así como los municipios del oriente de la entidad, los cuales se pueden apreciar en la figura 7.3.8.

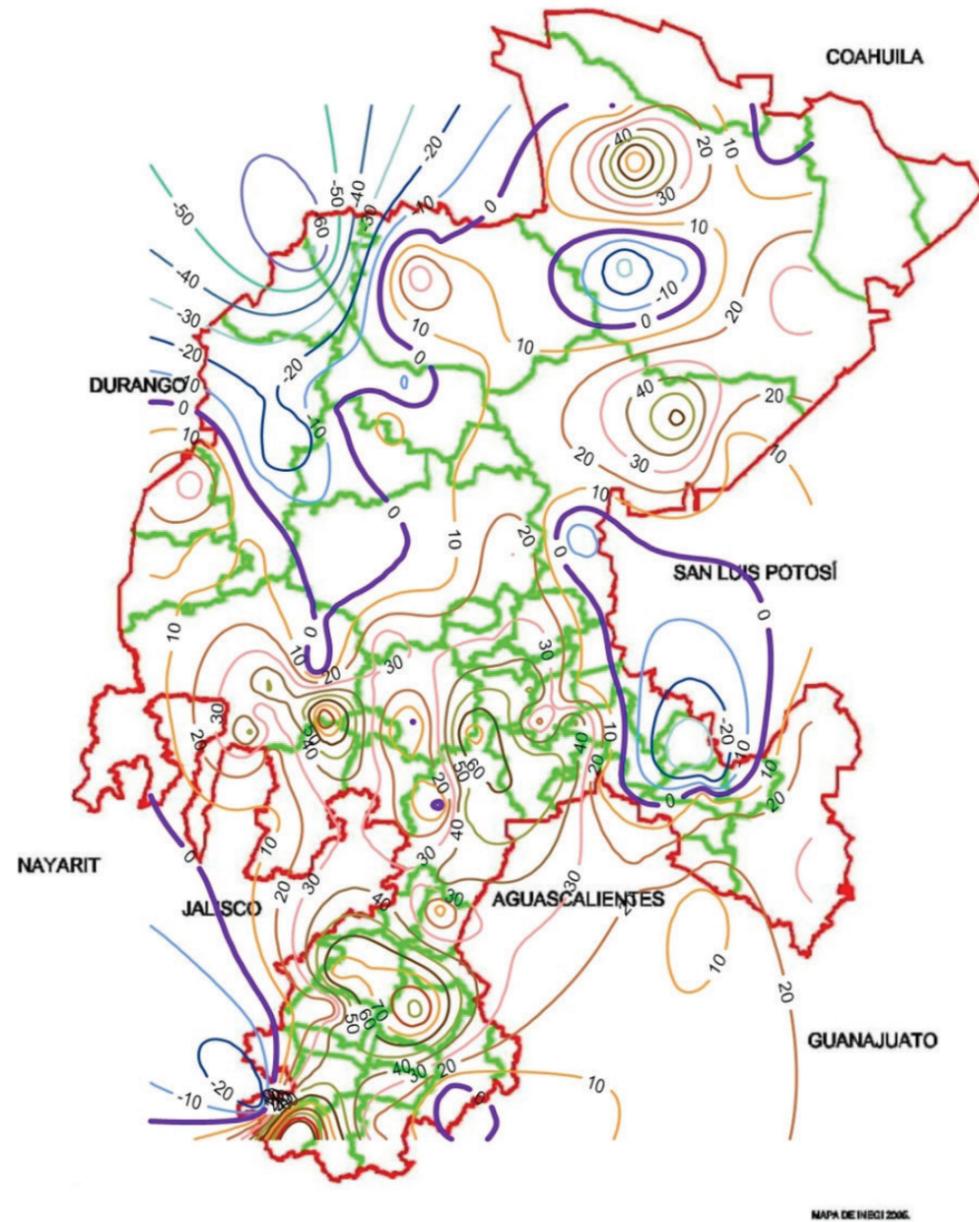


Figura 7.3.8 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de agosto

Con este mes termina la temporada de lluvias. En los últimos años se ha observado que en este mes han aumentado las precipitaciones y las tendencias de la figura 7.3.9 así lo confirman. Prácticamente en todo el estado han aumentado las precipitaciones. La pregunta obvia es ¿por qué las precipitaciones se han intensificado en este mes mientras que julio y agosto muestran un comportamiento irregular? Sin duda hacen falta estudios más detallados para explicar esta tendencia. Estos mapas confirman lo que sucede en la realidad, la temporada de lluvias está cambiando en su distribución temporal, espacial y en intensidad.

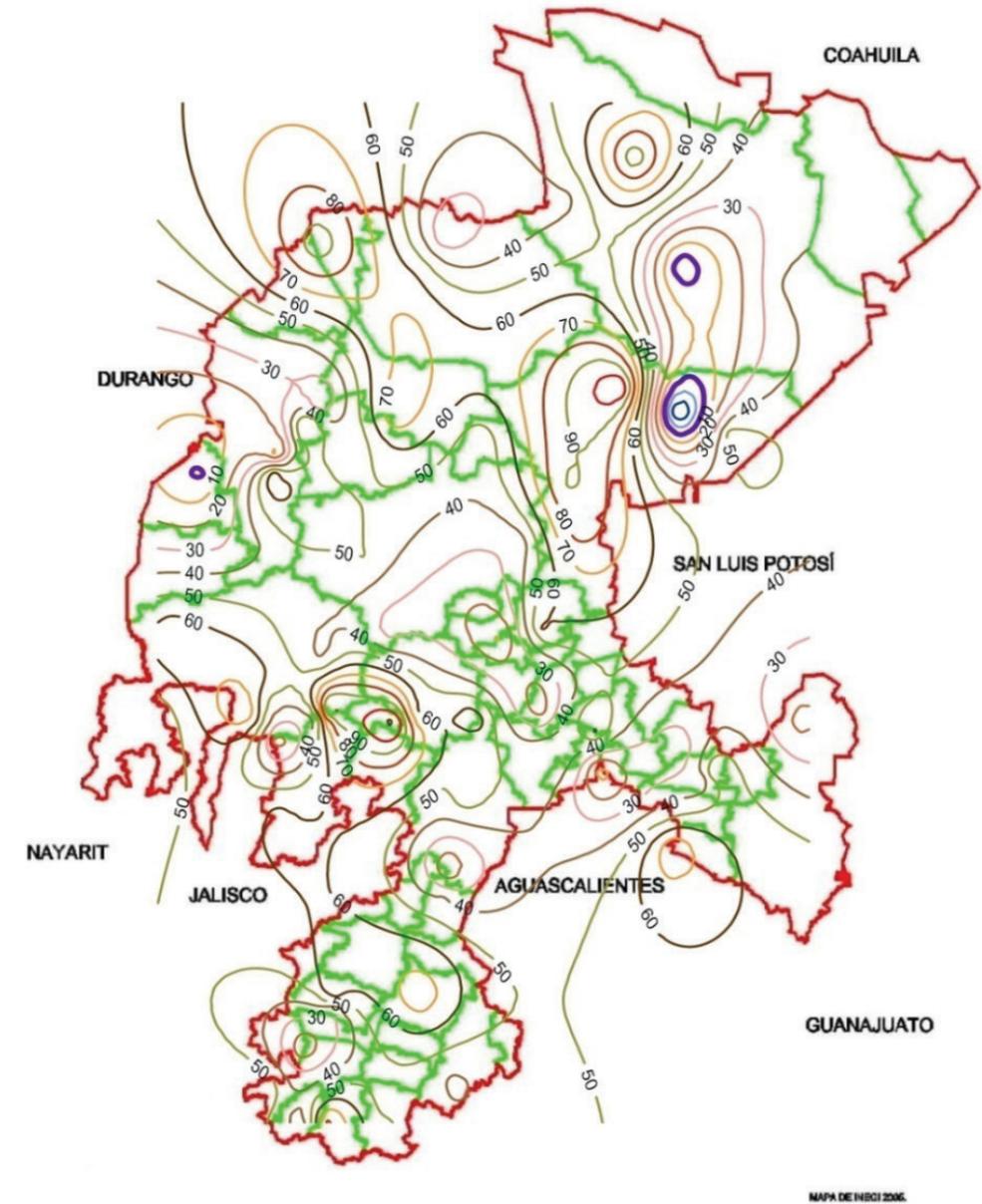


Figura 7.3.9 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de septiembre



Octubre muestra una disminución en las precipitaciones en aproximadamente un 70 % de la entidad. Esto se puede observar en la figura 7.3.10. Esta disminución en las precipitaciones trae consigo un problema importante, el cual consiste en que, al disminuir las precipitaciones, es indicio de que disminuye la humedad y con ello aumenta la probabilidad de ocurrencia de heladas en el estado.

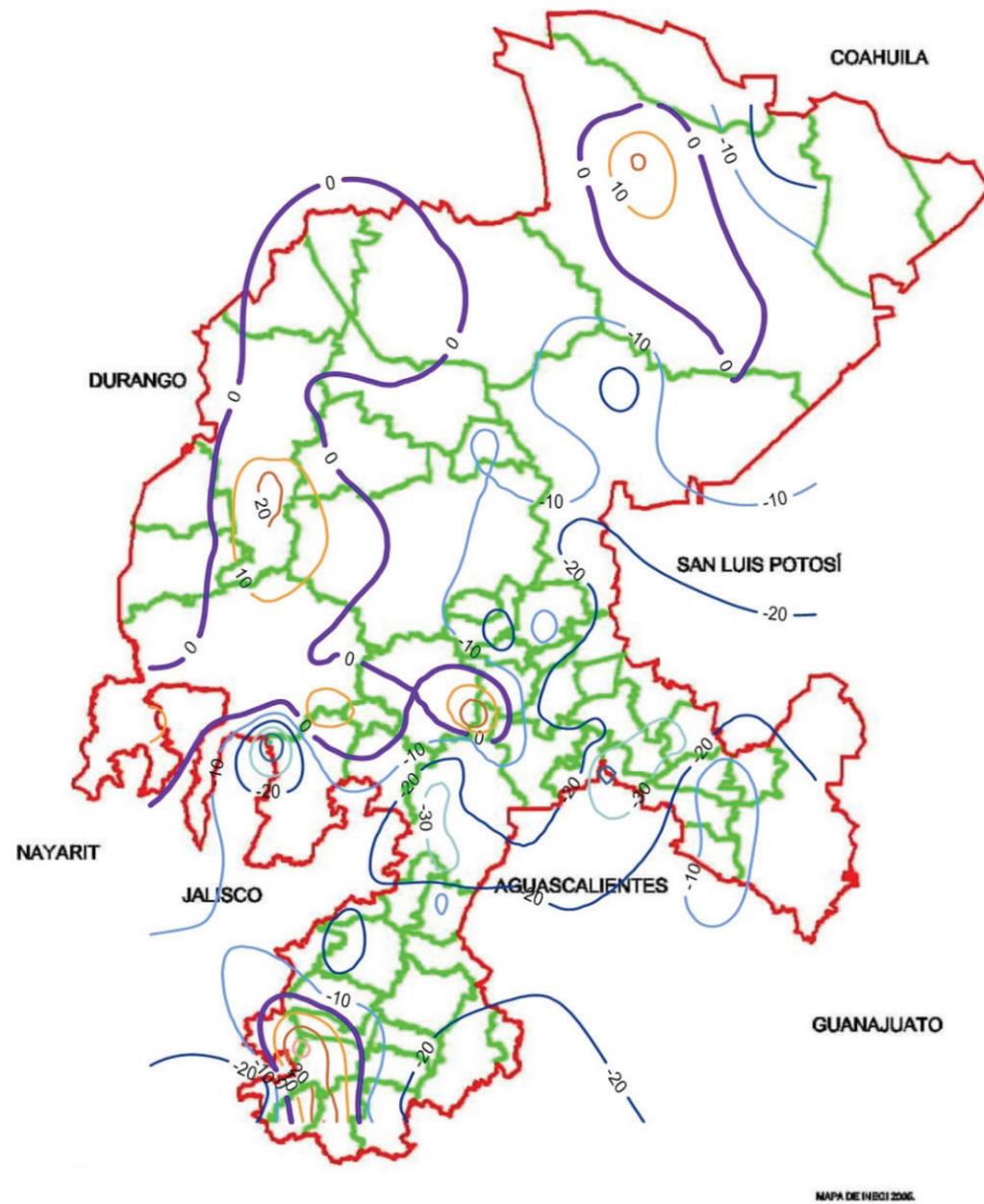


Figura 7.3.10 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de octubre

Disminución de las precipitaciones en prácticamente toda la entidad es lo que se puede observar en la figura 7.3.11 la cual muestra las tendencias del mes de noviembre. ¿Por qué las precipitaciones han disminuido tan drásticamente en ese mes? Se tratará de dar algunas sugerencias que pueden ayudar a aminorar el problema en el capítulo final.

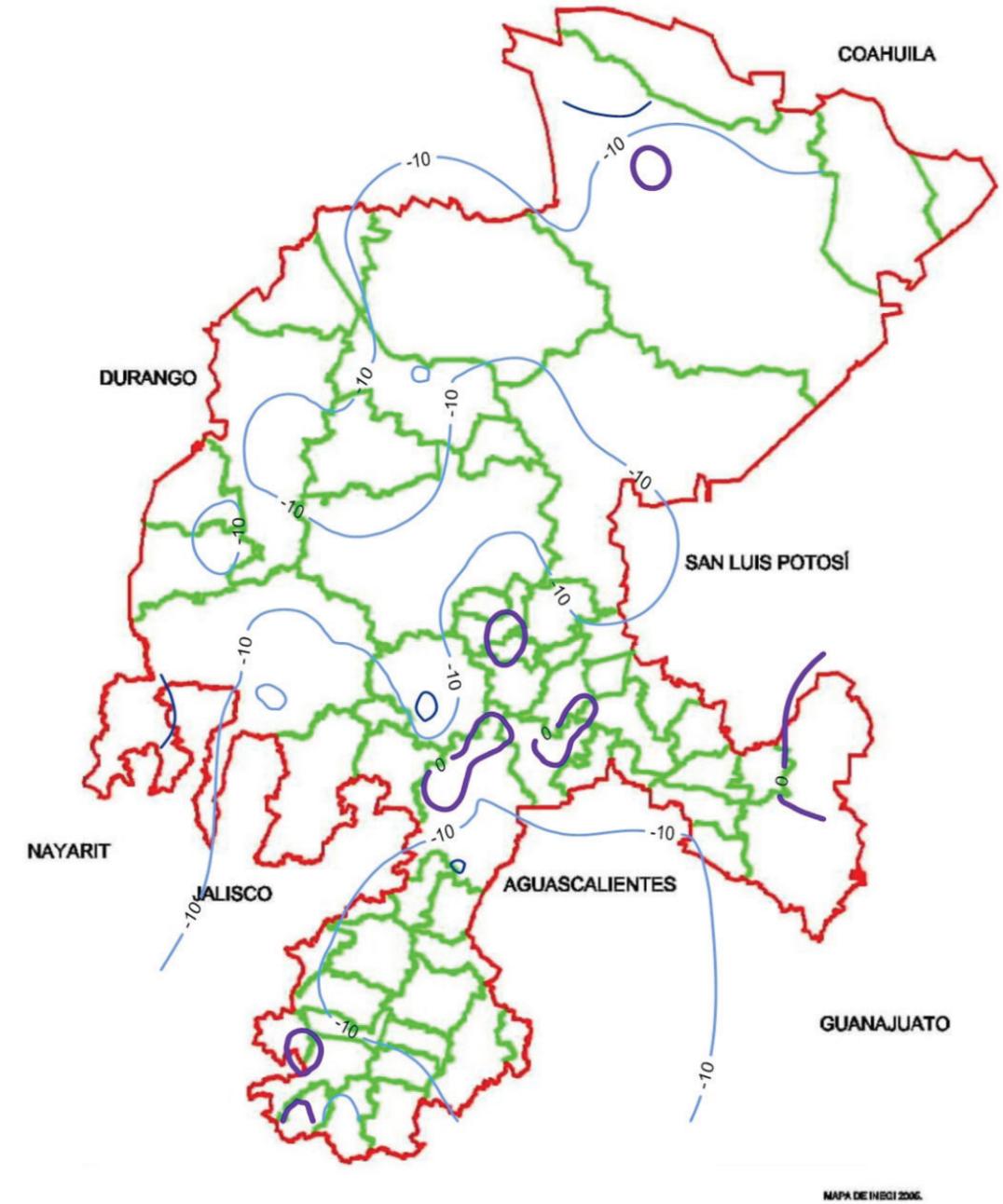


Figura 7.3.11 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de noviembre



La figura 7.3.12 muestra a diciembre con un panorama similar al del mes anterior. Disminución en las precipitaciones en más del 90% del estado. Las consecuencias de esto son haladas, que pueden ser negras por existir poca humedad en el ambiente.

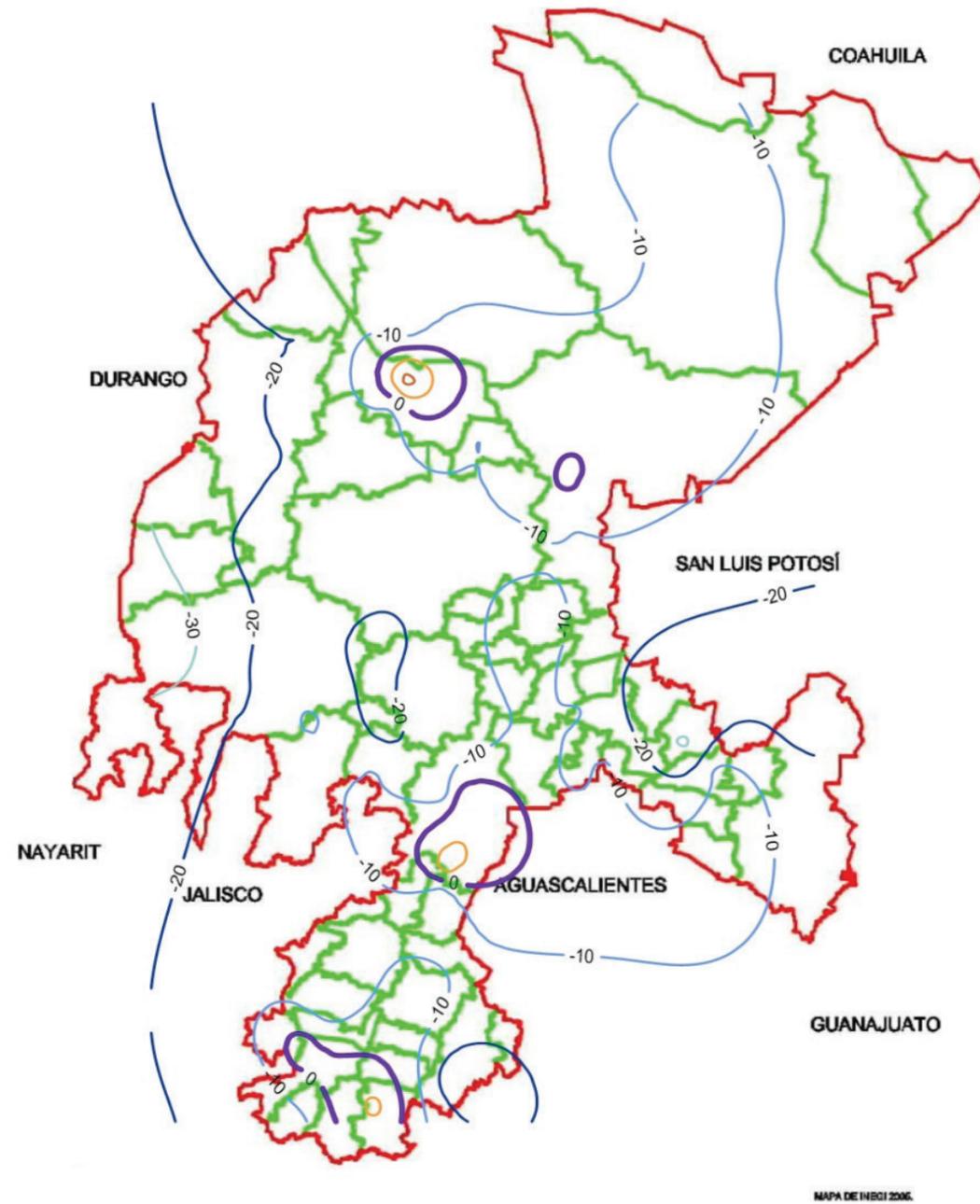


Figura 7.3.12 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de diciembre

La figura 7.3.13 muestra las tendencias anuales. Este mapa puede confundir un poco, por ser el promedio anual y eso equivale promediar julio con marzo, lo cual no es correcto, pero se presenta aquí únicamente para complementar la información; por si se desea conocer cómo se vería el promedio anual de todas las tendencias.

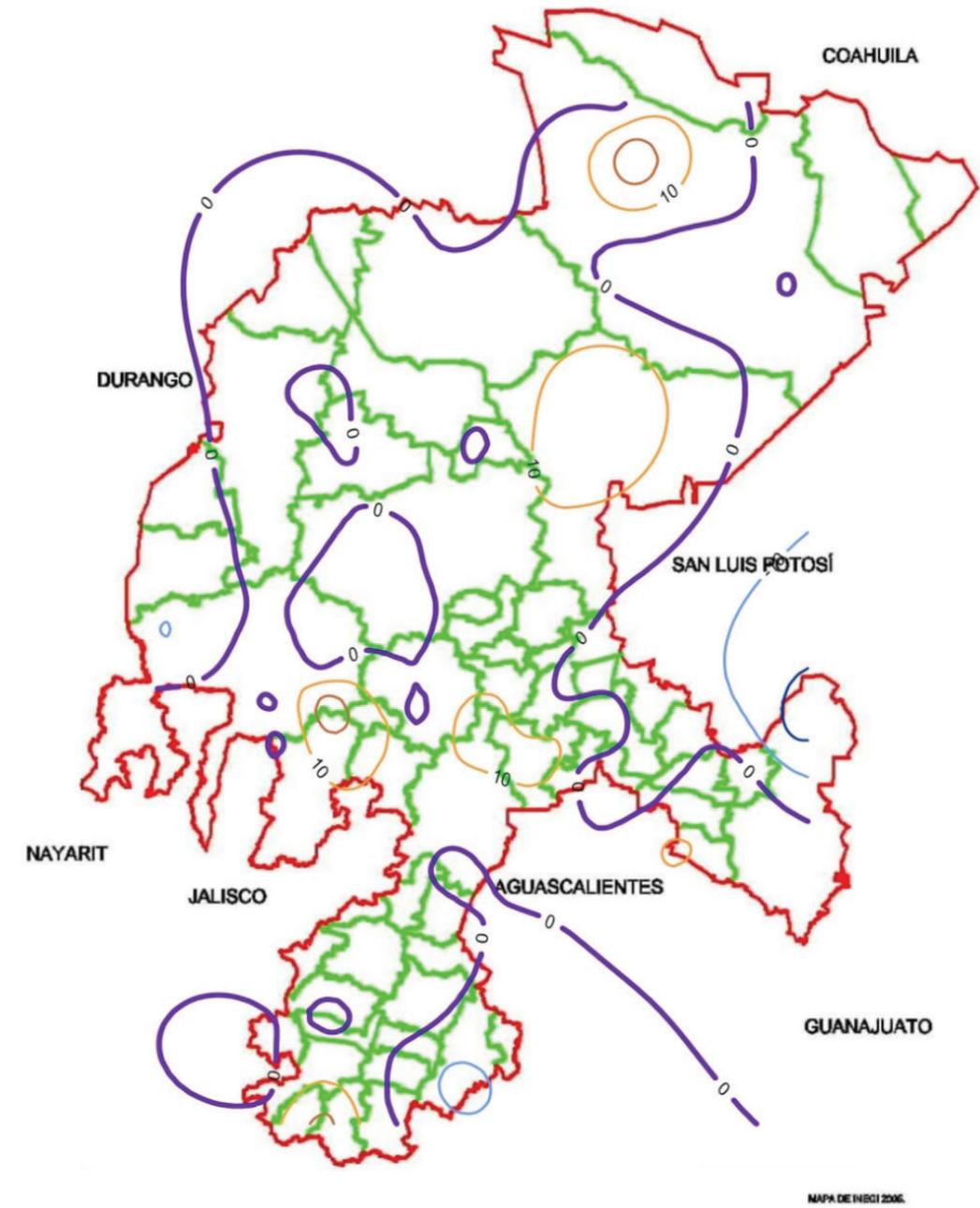


Figura 7.3.13 Tendencia de las precipitaciones durante el año



Capítulo VIII

Conclusiones



Después de analizar este material se pueden presentar las siguientes conclusiones:

El clima en Zacatecas está cambiando, aunque esto es una particularidad del clima, que siempre cambia. Ahora, nuevamente está cambiando. Las causas pueden ser muchas y su cuantificación de cada factor que modifica el clima, tanto regional, como global, es por lo pronto imposible de calcular.

Las causas globales ya se describieron previamente, ahora dentro de las principales causas locales están:

La deforestación que origina una atmósfera más seca, debido a la pérdida de humedad por la falta de evapotranspiración. Igualmente incrementa la temperatura máxima y esto hace que la humedad relativa disminuya. Esta disminución en la humedad origina que la oscilación de temperatura se incremente, por lo que aumenta la temperatura máxima y disminuye la temperatura mínima, esto es ocasionado cuando disminuye el vapor de agua y por lo tanto el efecto de gas de efecto invernadero. Lo que se puede observar claramente en los mapas de tendencias de temperaturas. Sin embargo, están los efectos globales, que indican que las temperaturas están aumentando en el mundo, por lo que la resultante entre los efectos locales y globales es lo que muestran las gráficas. El incremento no es global en el estado, sino regional debido a causas regionales.

Otro aspecto importante es el de la generación de islas de calor por efectos de la urbanización. Aquí, igualmente se produce un incremento en la temperatura y disminución de la humedad relativa, aunque la tensión del vapor de agua permanece constante, ya que ésta depende de la cantidad de humedad que proviene del Golfo de México o del Océano Pacífico oriental.



Figura 8.1 Climas en el estado de Zacatecas. Fuente INEGI

El estado de Zacatecas presenta un clima seco y semiseco casi en más de un 80% de su superficie, ver figura 8.1³⁴, con excepción de las regiones del sur y suroeste del estado donde las precipitaciones son superiores. Esto hace de Zacatecas una región muy vulnerable a las sequías. Durante los últimos años el patrón de lluvias ha estado cambiando. Las lluvias de invierno han disminuido considerablemente, además de que los meses de junio, julio y agosto muestran un comportamiento irregular. Las lluvias se han intensificado en septiembre, sin embargo en octubre las precipitaciones disminuyen, esto es ocasionado por una disminución de humedad, que a su vez es originado por la persistencia de sistemas de alta presión en el estado, los cuales dificultan la generación de las precipitaciones. Esta disminución en la cantidad de vapor de agua del aire incrementa la probabilidad de heladas tempranas y debido a que las precipitaciones muestran una disminución importante durante los meses de octubre hasta enero, se incrementa la probabilidad de heladas en todo el estado. Poca cantidad de vapor de agua en el ambiente origina una oscilación de importancia en las temperaturas, lo que a su vez ocasiona altas temperatura durante el día y bajas por la noche. Por otra parte, si se ve desde la óptica de la agricultura de la entidad, las heladas tempranas originan grandes daños a la agricultura de la región. Sin embargo, en caso de que persista el calentamiento global, éste desde este punto de vista podría ser favorable, ya que ocasionaría que las heladas se retrasaran. Para la agricultura de Zacatecas, el calentamiento global es benéfico ya que atrasaría el periodo de heladas, aparte del incremento del CO₂, el cual es igualmente favorable para el desarrollo de las plantas, siempre y cuando existan precipitaciones suficientes.

34 <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/zac/climas.gif>

Pronosticar a largo plazo que la mayor parte del tiempo habrá sequías en Zacatecas, figura 8.2³⁵, es climatológicamente poco probable, ya que si algo se ha aprendido del clima es que éste cambia. Estadísticamente se ha observado periodo en la oscilación de aproximadamente 10 años, lo cual se puede observar en la figura 8.3 con la distribución de las precipitaciones en Zacatecas.



Figura 8.2 Sequía en Fresnillo, Zacatecas

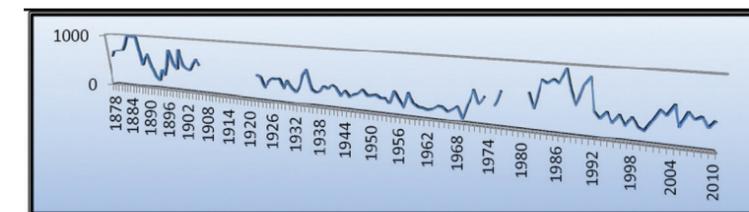


Figura 8.3 Precipitaciones históricas en Zacatecas, Zac.



Figura 8.4 Inundaciones en Tlaltenango Zac.

35 *Fotografía del autor*

Las probabilidades indican que, cuando se presenten las sequías, debido al calentamiento global, al cambio del uso del suelo, al incremento en áreas urbanas, principalmente; las sequías serán más intensas, debido a factores globales y locales. Sin embargo, cuando se presenten periodos de precipitaciones abundantes, las precipitaciones se incrementarán significativamente, debido al incremento de

temperatura global y local, ya que se genera una atmósfera más inestable, lo cual contribuye a la generación de tormentas eléctricas localmente fuertes o muy fuertes con peligro de encharcamiento e inundaciones, como las que se registraron en Tlaltenango en el julio de 2008, ver figura 8.4³⁶ y donde inclusive se tomó la fotografía de un tornado en la región, ver figura 8.5³⁷.



Figura 8.5 Formación de un tornado en Tlaltenango, Zac.

El problema principal radica aquí en que con el aumento de la población, se invaden regiones como: cauces de los ríos, zonas montañosas propensas a deslaves, etc. En síntesis, al crecer la población se hace más vulnerable ante este tipo de eventos meteorológicos debido a que invade zonas de alto riesgo.

Pero, sin lugar a dudas, el problema más grave para el estado de Zacatecas es cuando se presentan las sequías y desgraciadamente lo que muestra este estudio es que la distribución de las precipitaciones es sumamente irregular, tanto temporal, como espacialmente y como se mencionó anteriormente, con calentamiento global, las sequías será más intensas y aun más si se sigue desertificando el estado con el cambio de uso del suelo, con la deforestación y con el aumento en extensión horizontal de centros urbanos. Todo esto ocasiona y continuará ocasionando la extinción de especies y hace más vulnerable a la gente que habita la entidad.

Aquí es necesario tomar conciencia de la situación y tomar medidas para que los efectos de las sequías no sean tan dañinos al estado.

Entre otras medidas se sugiere:

- Formar un grupo de trabajo formado por dependencias federales, estatales, universidades y asociaciones campesinas para que analicen el problema en conjunto, ya que se considera que una sola dependencia, poco podrá hacer.

36 Fotografía regalada al autor.

37 Fotografía regalada al autor.

- Cambiar el uso del suelo, la tierra ociosa debería reforestarse y proporcionar ayuda económica y técnica por todas las dependencias que conformen este grupo de trabajo para esta labor.
- Mejorar los sistemas de riego.
- Determinar correctamente el tipo de cultivo adecuado a cada región para evitar riesgos innecesarios y pérdida de cultivos.
- Crear zonas verdes dentro de las ciudades.
- Informar a la población sobre la importancia de estos temas, ya que: “nuestra obligación es ver hacia el futuro”.
- Concientizar a toda la población sobre los problemas graves que son la explosión demográfica y la distribución desequilibrada de la riqueza.

Estas medidas que se sugieren son algunas de muchas más que se pueden llevar a la práctica. Desde luego hace falta seguir estudiando el clima de Zacatecas. Este proyecto abrió la puerta, ya que creó una base de datos buena, aunque debe de mejorarse y complementarse.

Los problemas que se presentaron durante este proyecto y que por tal motivo no se finalizó como se hubiera deseado fueron: la falta de una base de datos capturada digitalmente y confiable. La validación y captura obstaculizó enormemente los tiempos de ejecución y desarrollo de este trabajo.

Falta igualmente, realizar un programa de cómputo que capture, lea bases de datos de cada dependencia, que valide la información de acuerdo a diferentes criterios estadísticos; que analice la información conforme a lo que se desee investigar y que presente los resultados de manera gráfica y entendible, tanto para el público inexperto, como la proyectos de investigación científica que requieran datos más técnicos. Sin embargo, a pesar de todas las limitaciones a que se vio sometido el presente documento, se considera que se dio un primer e importante paso para tratar de entender el clima de Zacatecas.

Los anexos digitales, que son parte del mismo trabajo, representan lo que todo investigador desea tener: una base de datos con mucha historia, que muestre diversos parámetros estadísticos. Ya que tiene una cantidad enorme de información procesada. De hecho, las dos bases de datos que se generaron y los productos que se obtuvieron sirven para realizar un sinnúmero de investigaciones en todos los campos, ya que como se dice en meteorología y climatología:

“Toda actividad humana depende del clima”

Índice de Tablas

Tabla 1.1.1 lista de Estaciones Climatológicas.....	29
Tabla 1.2.1 Clave del elemento.....	31
Tabla 1.2.2 Lista de estaciones capturadas.....	35
Tabla 1.3.1 Base de datos diarios.....	36
Tabla 1.4.1 Datos de tormenta eléctrica.....	38
Tabla 1.4.2 Datos sobre granizo.....	39
Tabla 1.4.3 Datos sobre niebla.....	39
Tabla 1.4.4 Dato de nubosidad.....	39
Tabla 1.5.1 Elemento 2, Temperaturas máximas.....	41
Tabla 1.5.2 Elemento 3, Temperaturas mínimas.....	42
Tabla 1.5.3 Promedio de la temperatura media.....	42
Tabla 1.5.4 Oscilación media mensual.....	42
Tabla 1.5.5 Temperatura Media.....	43
Tabla 1.5.6 Oscilación.....	43
Tabla 1.5.7 Temperatura media máxima.....	44
Tabla 1.5.8 Oscilación máxima diaria.....	44
Tabla 2.1.1 Formato de la hoja de Excel.....	54
Tabla 2.1.2 Velocidades medias en m/s.....	63
Tabla 2.2.1 Frecuencia de los vientos dominantes.....	77
Tabla 3.2.1 Base de datos original del INIFAP.....	82
Tabla 3.2.2 Base de datos después de crear y leer el archivo.....	82
Tabla 3.3.1 Base de datos y cálculo de componentes X, Y.....	85
Tabla 3.3.2 Velocidad del viento asociada a su dirección.....	86
Tabla 3.3.3 Frecuencia de la velocidad del viento mensual y anual.....	86
Tabla 3.3.4 Frecuencia del viento mensual.....	86
Tabla 3.3.5 Frecuencia del viento anual.....	86
Tabla 3.3.6 Resultante vectorial del viento mensual.....	87
Tabla 3.3.7 Resumen de la resultante vectorial del viento mensual.....	87
Tabla 3.4.1 Valores observados reales de tensión del vapor de agua en hPa.....	91
Tabla 3.4.2 Valores de tensión del vapor de agua obtenidos por la fórmula en hPa.....	92
Tabla 3.4.3 Error medio de la tensión del vapor de agua en hPa.....	93
Tabla 4.1 Datos mensuales de radiación UV.....	96
Tabla 4.2 Índice UV.....	97
Tabla 5.1.1 Datos ordenados para generar normales y tendencias.....	100
Tabla 5.1.2 Formato del archivo donde se almacenan todos los datos de tendencias.....	102
Tabla 5.4.1 Relación temperatura elevación.....	110
Tabla 5.4.2 Error medio.....	111
Tabla 6.1 Tabla de gases de efecto invernadero.....	118
Tabla 7.1.1 Precipitaciones mensuales históricas con porcentajes.....	130

Índice de Figuras

Figura 1 Parte del oficio donde se basa el presente trabajo, punto R 3.1.....	22
Figura 1.1.1 Mapa de Estaciones Climatológicas.....	30
Figura 1.2.1 Formato CLICOM # 1.....	32
Figura 1.2.2 Formato CLICOM # 2.....	32
Figura 1.2.3 Formato CLICOM # 3.....	33
Figura 1.3.1 Microsoft Visual Basic.....	36
Figura 1.3.2 Menú de procesamientos.....	37
Figura 1.3.3 Archivo en formato txt de temperatura máxima.....	37
Figura 1.4.1 Código en Visual Basic.....	38
Figura 1.5.1 Formato de captura en Excel.....	40
Figura 1.5.2 Formato donde se ve el cálculo de la temperatura media.....	40
Figura 1.5.3 Fórmula empleada para el cálculo de temperatura media.....	41
Figura 1.5.4 Macro en Visual Basic para el cálculo de temperatura media y oscilación.....	43
Figura 1.6.1 Muestra de una de las hojas que compone el archivo de la normal.....	46
Figura 1.6.2 Formato de salida de las normales climatológicas.....	47
Figura 1.6.3 Gráfica de temperaturas mensuales.....	48
Figura 1.6.4 Temperatura media y precipitación mensual.....	48
Figura 1.6.5 Gráfica de temperaturas mensuales con anomalías.....	49
Figura 2.1.1 Temperaturas extremas, promedios y media en °C.....	55
Figura 2.1.2 Promedio de temperaturas máximas en °C.....	55
Figura 2.1.3 Temperatura media anual en °C.....	56
Figura 2.1.4 Promedio de temperaturas mínimas en °C.....	56
Figura 2.1.5 Número de días con heladas por año.....	57
Figura 2.1.6 Temperatura en °C y precipitación en mm.....	57
Figura 2.1.7 Precipitación media anual en mm.....	58
Figura 2.1.8 Precipitación máxima en 24 horas en mm.....	58
Figura 2.1.9 Número de Días con Precipitación > de 1.0 mm.....	59
Figura 2.1.10 Número de Días con Lluvia > 0.1 mm.....	59
Figura 2.1.11 Evaporación mensual en mm.....	60
Figura 2.1.12 Humedad relativa en %.....	60
Figura 2.1.13 Tensión del vapor de agua en hPa.....	61
Figura 2.1.14 Presión de la estación en hPa.....	61
Figura 2.1.15 Presión reducida al nivel medio del mar en hPa.....	62
Figura 2.1.16 Insolación en horas.....	62
Figura 2.1.17 Años con viento dominante en enero.....	64
Figura 2.1.18 Velocidad viento dominante enero m/s.....	64
Figura 2.2.1 Número de días despejados.....	66
Figura 2.2.2 Número de días medio nublados.....	66
Figura 2.2.3 Número de días nublados.....	67
Figura 2.2.4 Presión atmosférica al nivel de la estación.....	67
Figura 2.2.5 Presión al nivel de la estación histórica.....	68
Figura 2.2.6 Promedio de temperatura máxima media anual.....	68
Figura 2.2.7 Normales de 30 años del promedio de temperaturas máximas.....	69
Figura 2.2.8 Promedio de temperatura mínima media anual.....	69

Figura 2.2.9 Normales de 30 años del promedio de temperaturas mínimas.....	70
Figura 2.2.10 Temperaturas extremas, promedio de extremas y medias.....	70
Figura 2.2.11 Oscilación de la temperatura media anual.....	71
Figura 2.2.12 Temperatura media anual.....	71
Figura 2.2.13 Normales de 30 años de las temperaturas medias.....	72
Figura 2.2.14 Temperatura media histórica anual.....	72
Figura 2.2.15 Anomalías de temperaturas medias.....	73
Figura 2.2.16 Tensión del vapor de agua media anual en hPa.....	73
Figura 2.2.17 Humedad relativa anual.....	74
Figura 2.2.18 Precipitación anual.....	74
Figura 2.2.19 Normales de 30 años de precipitación media mensual.....	75
Figura 2.2.20 Precipitación anual histórica.....	75
Figura 2.2.21 Años con viento dominante en enero.....	76
Figura 2.2.22 Velocidad del viento en enero m/s.....	76
Figura 2.2.23 Velocidad media del viento histórica.....	77
Figura 2.2.24 Forma 5 mensual.....	78
Figura 3.1.1 Ubicación de estaciones del INIFAP.....	81
Figura 3.2.1 Temperaturas extremas, promedios de extremas y medias mensuales.....	83
Figura 3.2.3 Temperatura y precipitación.....	84
Figura 3.2.4 Humedad relativa media.....	84
Figura 3.2.5 Radiación solar media.....	84
Figura 3.3.1 Gráfica mensual de la frecuencia de la dirección del viento en %.....	87
Figura 3.3.2 Gráfica mensual de la velocidad del viento asociada a su dirección en Km/h.....	88
Figura 3.3.3 Gráfica mensual de la frecuencia en % de la velocidad del viento en Km/h.....	88
Figura 3.3.4 Frecuencia de la dirección del viento en %.....	89
Figura 3.3.5 Frecuencia anual de la dirección del viento en Km/h.....	89
Figura 3.3.6 Frecuencia anual en % de la velocidad del viento en Km/h.....	90
Figura 3.4.1 Tensión del vapor de agua calculada en hPa.....	94
Figura 5.1.1 Tendencia de enero de temperatura media.....	101
Figura 5.1.2 Tendencia anual de temperatura media.....	101
Figura 5.1.3 Zacatecas con división municipal.....	102
Figura 5.1.4 Radiación solar media anual.....	103
Figura 5.1.5 Humedad relativa media anual.....	104
Figura 5.1.6 Aumento en la temperatura ocasionada por el crecimiento de la población.....	105
Figura 5.1.7 Tensión de vapor de agua medio anual.....	106
Figura 5.2.1 Viento de junio con lluvias abundantes.....	107
Figura 5.2.2 Viento de junio con lluvias escasas.....	107
Figura 5.2.3 Viento de marzo con lluvias abundantes.....	108
Figura 5.2.4 Viento de marzo con lluvias escasas.....	108
Figura 5.3.1 Lluvias anuales en el estado de Zacatecas.....	109
Figura 5.4.1 Ecuación de la recta temperatura-elevación.....	110
Figura 5.4.2 Temperaturas de Zacatecas.....	112
Figura 6.1 Publicación de libros.....	115
Figura 6.2 Tendencias de temperaturas en 3 regiones del planeta.....	116
Figura 6.3 Tendencias de temperaturas por regiones del planeta.....	117

Figura 6.4 Espectro de absorción de los principales gases de efecto invernadero.....	117
Figura 6.5 Gases de efecto invernadero.....	118
Figura 6.6 Correlación entre la temperatura y el CO ₂	119
Figura 6.7 El dióxido de carbono y los océanos.....	120
Figura 6.8 El CO ₂ en la litosfera, noosfera, hidrosfera y biosfera.....	121
Figura 6.9 Radiación solar y la temperatura.....	122
Figura 6.10 Ciclos de Milancovitch.....	123
Figura 6.11 Balance energético de la Tierra.....	123
Figura 6.12 Ingresos por habitantes en salarios mínimos.....	126
Figura 6.13 Ingresos obtenidos por productos petroleros en % con respecto al PIB.....	127
Figura 7.1.1 Precipitaciones mensuales históricas.....	130
Figura 7.1.2 Porcentaje de precipitaciones mensuales.....	130
Figura 7.2.1 Tendencias de temperaturas máximas 1.....	132
Figura 7.2.2 Tendencias de temperaturas máximas 2.....	133
Figura 7.2.3 Tendencias de temperaturas máximas 3.....	134
Figura 7.2.4 Tendencias de temperaturas medias 1.....	135
Figura 7.2.5 Tendencias de temperaturas medias 2.....	136
Figura 7.2.6 Tendencias de temperaturas medias 3.....	137
Figura 7.2.7 Tendencias de temperaturas mínimas 1.....	138
Figura 7.2.8 Tendencias de temperaturas mínimas 2.....	139
Figura 7.2.9 Tendencias de temperaturas mínimas 3.....	140
Figura 7.2.10 Tendencias de temperatura máxima anual.....	141
Figura 7.2.11 Tendencias de temperatura media anual.....	142
Figura 7.2.12 Tendencias de temperatura mínima anual.....	143
Figura 7.3.1 Tendencia de las precipitaciones durante enero.....	145
Figura 7.3.2 Tendencia de las precipitaciones durante febrero.....	146
Figura 7.3.3 Tendencia de las precipitaciones durante marzo.....	147
Figura 7.3.4 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de abril.....	148
Figura 7.3.5 Tendencia de las precipitaciones durante mayo.....	149
Figura 7.3.6 Tendencia de las precipitaciones durante junio.....	150
Figura 7.3.7 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de julio.....	151
Figura 7.3.8 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de agosto.....	152
Figura 7.3.9 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de septiembre.....	153
Figura 7.3.10 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de octubre.....	154
Figura 7.3.11 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de noviembre.....	155
Figura 7.3.12 Tendencia de las precipitaciones durante el mes de diciembre.....	156
Figura 7.3.13 Tendencia de las precipitaciones durante el año.....	157
Figura 8.1 Climas en el estado de Zacatecas.....	160
Figura 8.2 Sequía en Fresnillo, Zacatecas.....	161
Figura 8.3 Precipitaciones históricas en Zacatecas, Zac.....	161
Figura 8.4 Inundaciones en Tlaltenango, Zac.....	162
Figura 8.5 Formación de un tornado en Tlaltenango, Zac.....	162

Literatura consultada

- *Función de las normales climatológicas en clima cambiante WCDMP-N°. 61 OMM-TD N°. 1377*
- *Datos climáticos de la República Mexicana: panorama actual y requerimientos inmediatos.* Jorge Luis Vázquez-Aguirre
- Jones, P.D., T.J. Osborn, and K.R. Briffa (1997). *Estimating sampling errors in large-scale temperature averages*, *J. Climate*, 10, 2548-2568.
- *Termodinámica de la atmósfera*, J. V. Iribarne y W. L. Godson
- *Problemas de Meteorología I. Estática y termodinámica de la atmósfera*, Carlos García-Legaz Martínez y Federico Castejón de la Cuesta
- Goodridge, J. D. (1996) *Comments on "Regional simulations of greenhouse warming including natural variability"*. *Bull. Am. Met. Soc.*, vol. 77 n° 7, 1588-1589.
- *El clima en la ciudad de México* Ernesto Jáuregui CCA/UNAM
- *Problemas de Meteorología I. Estática y termodinámica de la atmósfera*, Carlos García-Legaz Martínez y Federico Castejón de la Cuesta
- *Climate Change 2001: The IPCC Scientific Assessment*. Edited por J. T. Houghton, Y Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linder, X. Dai, K. Maskell y C. A. Jonhson. Cambridge University Press para IPCC-WMO-UNEP.
- *Disparity of tropospheric and surface temperature trends: New evidence*, David H. Douglass, Benjamin D. Pearson, S. Fred Singer, Paul C. Knappenberger, and Patrick J. Michaels
- *Resistant, Robust and Nonparametric Techniques for the Analysis of Climate Data: Theory and Examples, Including Applications to Historical Radiosonde Station Data* John R. Lanzante Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA Princeton University Princeton, N.J., USA 08542
- *CANADIAN HISTORICAL AND HOMOGENEOUS TEMPERATURE DATASETS FOR CLIMATE CHANGE ANALYSES* LUCIE A. VINCENT* and D.W. GULLETT Climate Research Branch, Atmospheric Environment Service, Environment Canada.
- *Quality Control and Homogeneity of Precipitation Data in the Southwest of Europe* J. FIDEL GONZÁLEZ-ROUCO Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, UCM, Madrid, Spain, and GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, Germany, J. LUIS JIMÉNEZ Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, UCM, Madrid, Spain, VICENTE QUESADA Departamento de Estadística e Investigación Operativa, UCM, Madrid, Spain FRANCISCO VALERO, Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, UCM, Madrid, Spain (Manuscript received 19 July 1999, in final form 19 April 2000)
- *Guía del Sistema Mundial de Observación OMM-N° 488*
- *HOMOGENIZATION OF SWEDISH TEMPERATURE DATA. PART I: HOMOGENEITY TEST FOR LINEAR TRENDS* HANS ALEXANDERSSON¹ AND ANDERS MOBERG² ¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute
- *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO-No. 8 Seventh edition 2008 WMO-No. 8* © World Meteorological Organization, 2008
- *El Cambio Climático en América Latina y el Caribe SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*
- *Antarctic Regional Interactions Meteorology Experiment (RIME) Implementation Plan* Edited by David H. Bromwich and Thomas R. Parish June 2004
- *VARIACIONES HIDROCLIMATICAS O EVIDENCIAS DE CAMBIO CLIMATICO EN EL SALVADOR?* Adriana María Erazo Chica Investigadora Hidróloga Servicio Nacional de estudios Territoriales SNET El Salvador
- *Huracanes Parte I Estructura y Climatología* por Profesor Steven Businger
- *Resistant, Robust and Nonparametric Techniques for the Analysis of Climate Data: Theory and Examples, Including Applications to Historical Radiosonde Station Data* John R. Lanzante Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA Princeton University Princeton, N.J., USA 08542
- *INDICE ULTRAVIOLETA*, Luis Vallejo Delgado, Departamento de Física, Universidad de Antofagasta, Año 2003
- *METEOROLOGY DEMYSTIFIED* STAN GIBILISCO McGRAW-HILL
- *Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001 La base científica Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico Parte de la contribución del Grupo de trabajo al Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*
- *Cambio climático en el Mediterráneo español* Instituto Español de Oceanografía MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
- *ÍNDICE UV SOLAR MUNDIAL Guía práctica Recomendación conjunta de: Organización Mundial de la Salud Organización Meteorológica Mundial Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante*
- *Variabilidad natural y detección instrumental del cambio climático* Jorge Luis Vázquez-Aguirre, Manola Brunet, Phil D. Jones
- *Meteorology Today* C. DONALD AHRENS, BROOKS/COLE CENGAGE LEARNING
- *Calendar*, G. S. *Can CO₂ influence climate?*
- *Benestad, R Solar activity and Earth's climate.*
- *Guillet N. P. and Thompson, D. W. J. Simulation of recent southern hemisphere climate change.*
- *The IPCC Scientific Assessment*. Edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Jonhson. Cambridge University Press, Published for the IPCC-WMO-UNEP.
- *Cambio climático, una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, 2004.*
- *Dr. S. Fred Singer, atmospheric physicist. Professor Emeritus of Environmental Sciences at the University of Virginia, and former director of the US Weather Satellite Service; in a Sept. 10, 2001 Letter to Editor, Wall Street Journal* http://www.geocraft.com/WVFossils/greenhouse_data.html
- *Stanhil, G. (1999) Climate change science is now big science. Forum, EOS, vol. 80, n° 35, 396-397.*
- *Climate Change 2001: The IPCC Scientific Assessment*. Edited por J. T. Houghton, Y Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linder, X. Dai, K. Maskell y C. A. Jonhson. Cambridge University Press para IPCC-WMO-UNEP.
- *Disparity of tropospheric and surface temperature trends: New evidence*, David H. Douglass, Benjamin D. Pearson, S. Fred Singer, Paul C. Knappenberger, and Patrick J. Michaels
- *Physics of Climate*. José P. Peixoto and Abraham H. Oort
- *Dr. S. Fred Singer, atmospheric physicist. Professor Emeritus of Environmental Sciences at the University of Virginia, and former director of the US Weather Satellite Service; in a Sept. 10, 2001 Letter to Editor, Wall Street Journal* http://www.geocraft.com/WVFossils/greenhouse_data.html

- http://www.geocraft.com/WVFossils/greenhouse_data.html This page by: Monte Hieb Last revised: March 2, 2007.
- *Greenhouse Gases. Frequently Asked Questions National Oceanic and Atmospheric Administration. National Climatic Data Center* <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/gases.html#watervapor>
- *Climate Change. Oceans are the main regulators of carbon dioxide. Emeritus Prof Lance Endersbee is a past national president of Engineers Australia.*
- *Riccardo Pravettoni, UNEP/GRID-Arendal* http://www.grida.no/graphicslib/detail/ocean-carbon-cycle_165c
- *S. Fred Singer, ed., Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change, Chicago, IL: The Heartland Institute, 2008.*
- *Riccardo Pravettoni, UNEP/GRID-Arendal* http://www.grida.no/graphicslib/detail/carbon-cycle_d7da
- *Pang, K. D. y Yau, K.K. Ancient Observations Link. Changes in Sun's Brightness and Earth's Climate. EOS VOLUME 83 NUMBER 43. 22 OCTOBER 2002. PAGES 481-496*
- *Berger A. Le Climat de la Terre. De Boeck Université. Bruxelles.*
- *A. BARRIE PITTOCK, SECOND EDITION CLIMATE CHANGE. The Science, Impacts and Solutions.*
- <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/zac/climas.gif>
- *ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS RELATIVOS DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LAS RAMAS DE LA ECONOMÍA MEXICANA. Pablo Ruiz Ñapóles.*
- *Encyclopedia of global warming and climate change s. George Philander.*
- *Crecimiento económico y emisiones de CO₂ por combustión de energéticos en México, 2005-2030 Germán Alarco Tosoni**
- *Cambio climático y sustentabilidad económica y social: implicaciones sobre el bienestar social Emèrit Bono. Cate-drático de Economía Aplicada. Instituto Universitario de Economía Social y Cooperativa. Universidad de Valencia.*
- *Alternative energy demystified. Stan Gibilisco.*
- *Climate change. The Science, Impacts and Solutions. A. Barrie Pitt ock*

PRESENTACIÓN

Los estudios contenidos en el presente documento constituyen los compromisos del convenio celebrado entre el Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Zacatecas y la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

En estos estudios se detalla el origen, la transformación y el consumo de las principales fuentes de energía y las emisiones derivadas de dicho consumo energético en el Estado de Zacatecas.

El grupo de trabajo agradece a las dependencias del Estado de Zacatecas la atención y colaboración otorgadas a lo largo de la elaboración de los estudios: la Delegación Federal de la SEMARNAT en Zacatecas, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Zacatecas (IEMAZ).

El respaldo de todos ellos es un elemento que garantiza la confiabilidad de los resultados.

Mediante este esfuerzo conjunto ha sido posible identificar la información que es necesario generar para dar aún más detalle a futuros estudios de esta naturaleza en la entidad. Hacer uso de la información aquí generada para la toma de decisiones, y dar continuidad a esta iniciativa, constituyen el siguiente paso en la búsqueda de un desarrollo sostenible dentro del sector energético estatal.

INTRODUCCIÓN

El Estado de Zacatecas está ubicado en la región centro-norte de la República Mexicana. Colinda con los Estados de Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí, Coahuila y Durango. Posee una extensión territorial de 75,040 km² conformada por 58 municipios y una población de 1,490,680 habitantes, de acuerdo al censo INEGI 2010.

Este documento contiene los conceptos, la estructura, el método y los resultados finales de los dos estudios elaborados para el Estado de Zacatecas: el Balance Energético Estatal 2005-2009 y la Huella de Carbono Estatal 2005-2009. Cada estudio inicia con la descripción de la estructura utilizada y finaliza con una sección de conclusiones que son fácilmente identificables.

El Balance de Energía cubre el periodo 2005–2009. Con esto, se tiene una mejor perspectiva de análisis en cuanto a evolución y tendencias de los consumos y suministros de energía. Los resultados se presentan en arreglos matriciales anuales, con columnas que corresponden a las fuentes de energía y cuyas filas son los procesos convencionales de suministro, transformación, pérdidas y consumo. También se incluye en el Anexo B10 un sistema computacional confiable de actualización anual y la información integrada se muestra en diagramas de Sankey. El método se presenta en el Anexo B11 con la correspondiente descripción detallada de la obtención de la información y los cálculos realizados. Al final de este estudio se analizan los resultados enfatizando la situación de dependencia energética estatal y la sostenibilidad del modelo energético.

La Huella de Carbono cuantifica las emisiones a la atmósfera que provienen del consumo energético en el Estado de Zacatecas. Se contabilizan, como dióxido de carbono equivalente, las emisiones de los principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). El consumo de energía se clasifica en tres categorías: combustibles fósiles, combustibles biogénicos y electricidad. A partir del total de las emisiones de estas tres categorías se obtiene la huella de carbono general. Los resultados se presentan en gráficos estatales con la huella de carbono total y per cápita para el periodo 2005 - 2009.

Los estudios anteriores describen la situación del sector energético y de las emisiones de dióxido de carbono equivalente.

El documento finaliza con las conclusiones generales, un glosario y las referencias consultadas. Asimismo se incluye un índice de tablas, figuras y anexos.

La información aquí presentada y analizada corresponde a la disponible al mes de julio de 2011, fecha en que finalizó la recopilación de la misma.

Factores de conversión

En el presente estudio se emplean las siguientes equivalencias y prefijos.

Unidades másicas	Unidades volumétricas	Unidades energéticas
1 ton métrica = 1,000 kg	1 barril = 158.9873 litros	1 MWh = 3,600 MJ
Prefijos métricos		
Exa (E) = 10 ¹⁸	Tera (T) = 10 ¹²	Mega (M) = 10 ⁶
Peta (P) = 10 ¹⁵	Giga (G) = 10 ⁹	kilo (k) = 10 ³

Abreviaturas

La siguiente es una lista de las principales siglas y abreviaturas empleadas en el documento:

ASERCA: Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria

IEMAZ: Instituto de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Zacatecas

IFAI: Instituto Federal de Acceso a la Información Pública

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

PEP: Pemex Exploración y Producción

PGPB: Pemex Gas y Petroquímica Básica

PPQ: Pemex Petroquímica

PR: Pemex Refinación

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER: Secretaría de Energía

SIAP: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA)

TAR: Terminal de Almacenamiento y Reparto (PEMEX)

RESUMEN EJECUTIVO

La estructura y los resultados más relevantes de cada uno de los estudios se listan a continuación.

Balance Energético Estatal 2005-2009

El Balance Energético detalla los procesos que atraviesan las fuentes de energía, desde su producción hasta su consumo final.

La Figura 1A lista las fuentes de energía cuantificadas en el Balance Energético Estatal. La energía primaria es extraída directamente de la naturaleza. Mediante procesos de transformación, ésta es convertida en energía fácilmente utilizable o energía secundaria.

Los procesos energéticos se muestran en la Figura 1B, clasificados en cuatro categorías generales: energía disponible (en azul), consumo y pérdidas en el sector energético (en morado), transformación de energía (en rojo) y consumo final total (en verde).



Figura 1A. Fuentes de energía

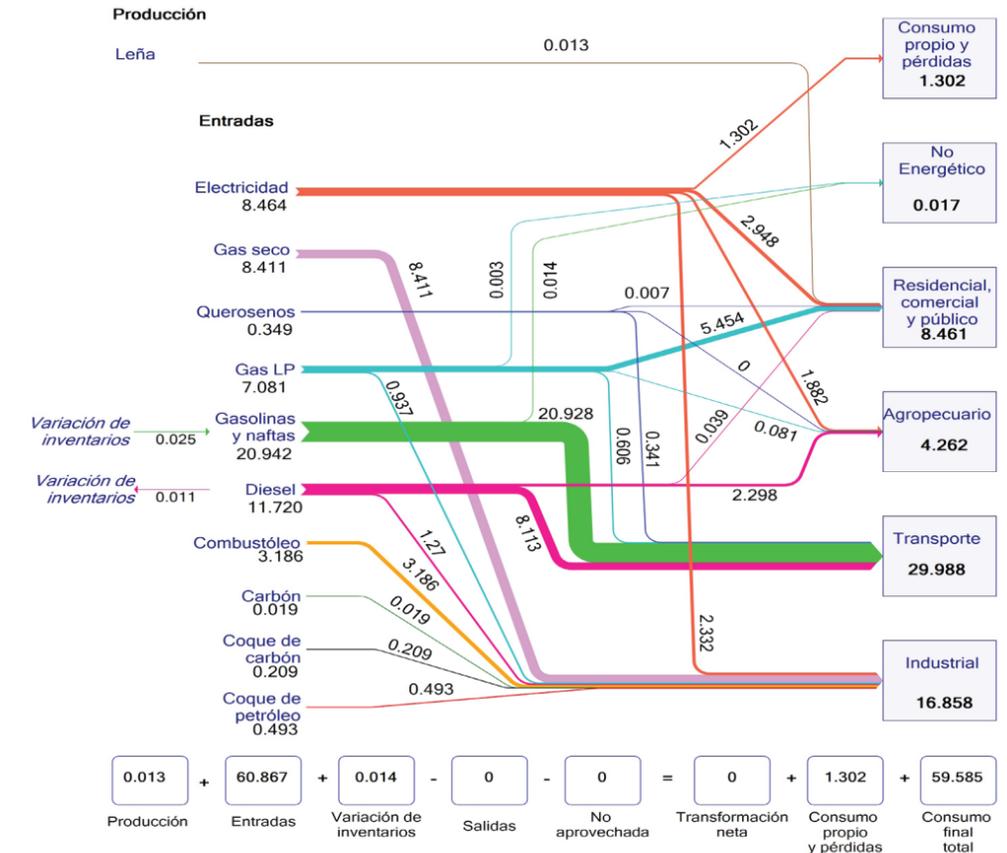
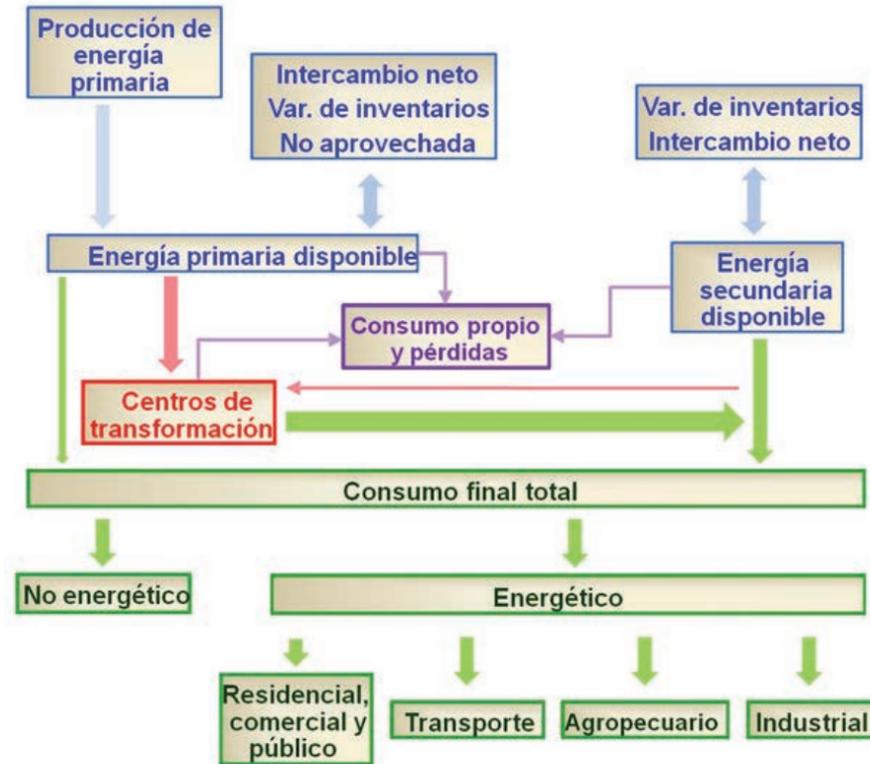


Figura 1C. Balance energético estatal 2009 (petajoules).

Estructura porcentual 2009

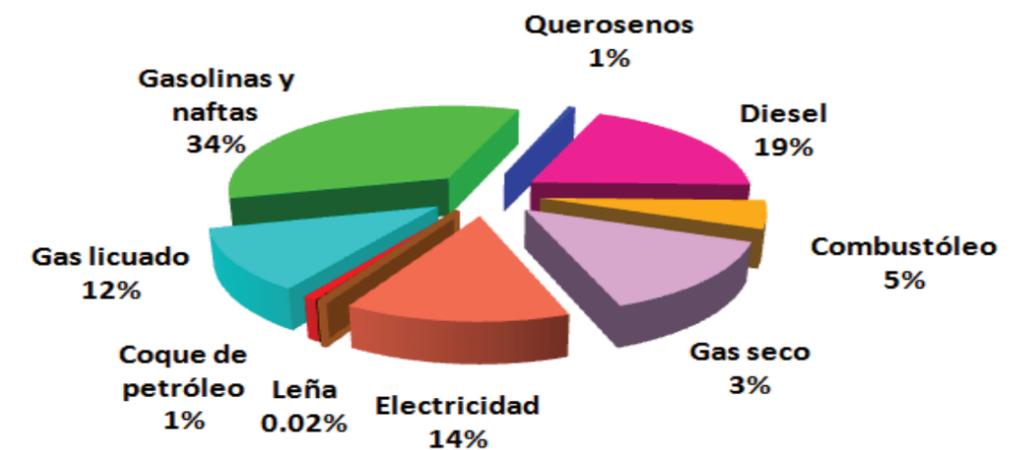


Figura 1D. Consumo por fuente de energía en Zacatecas durante 2009.

El diagrama de Sankey de la Figura 1C ilustra cualitativa y cuantitativamente los flujos de energía por fuente y sector de consumo efectuados durante el año 2009. En ese año, el consumo estatal de energía alcanzó 60.89 PJ, 0.74% del total nacional (8,247 PJ). El Estado de Zacatecas satisfizo 0.02% de dicho consumo, al producir solamente leña.

En el año 2009, las gasolinas y naftas constituyeron la fuente de energía de mayor consumo en la entidad (Figura 1D), siendo el transporte el sector con la mayor contribución.

A lo largo del periodo de estudio, Zacatecas dependió energéticamente de otras entidades. La producción estatal contribuyó en promedio con la energía disponible en 0.04 % (Figura 1E).

Porcentaje de energía disponible cubierto con producción estatal

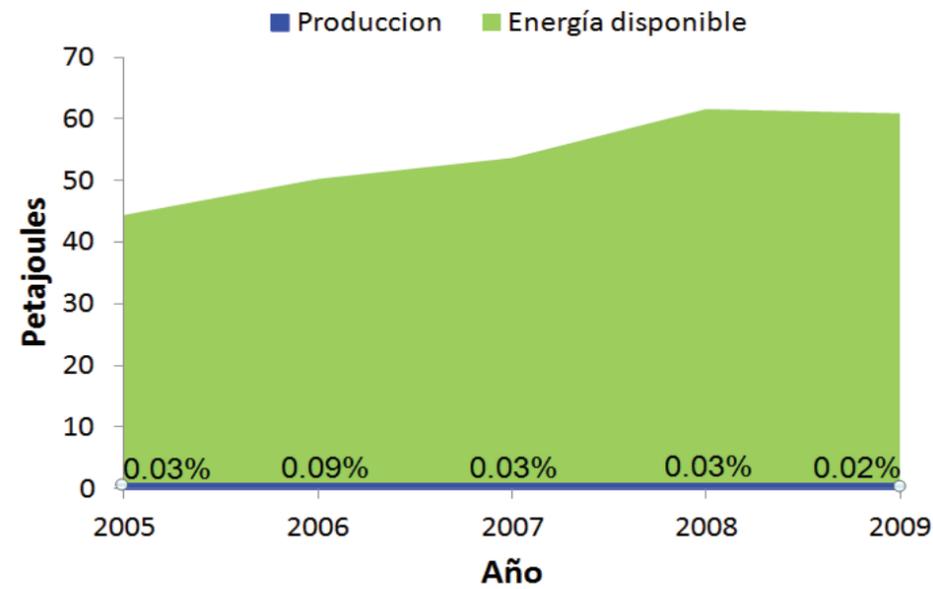


Figura 1E. Porcentaje de autosuficiencia energética en Zacatecas.

Huella de Carbono 2005- 2009

La Huella de Carbono cuantifica las emisiones que resultan del consumo energético en el Estado de Zacatecas.

Las fuentes de energía cuyas emisiones se cuantifican son clasificadas en tres categorías: combustibles fósiles, combustibles biogénicos y electricidad. A partir del total de las emisiones de estas tres categorías se obtiene la huella de carbono general (Figura 2A).

Son tomadas en cuenta las emisiones de los principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

El diagrama de la Figura 2B muestra el método seguido para el cálculo de las emisiones.

Partiendo del consumo energético y de factores de emisión internacionales (IPCC, 2006), se calculan las emisiones de cada gas de efecto invernadero. Estas emisiones son convertidas a dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) considerando el potencial de calentamiento global de cada gas (GWP, por sus siglas en inglés).

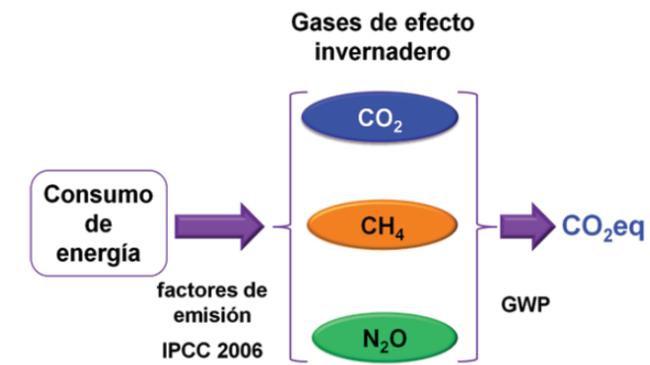


Figura 2B. Método de cálculo de las emisiones de dióxido de carbono equivalente.

En 2009 fueron emitidas 3.04 ton CO₂eq/hab en el Estado de Zacatecas, valor por debajo del promedio nacional (4 ton CO₂eq/hab).

Las emisiones per cápita más elevadas fueron producto del consumo de gasolinas, naftas y diesel, calculadas en poco más de 1.6 ton CO₂eq/hab, producidas en su mayoría por el sector transporte. El segundo energético con emisiones más

elevadas fue la electricidad, alcanzando 0.52 ton CO₂eq/hab, como consecuencia de su producción a partir de combustibles fósiles, estimada en 80%.

Las Figuras 2C y 2D detallan las emisiones generales y per cápita anuales por combustible producidas en el Estado de Zacatecas durante el periodo de estudio.

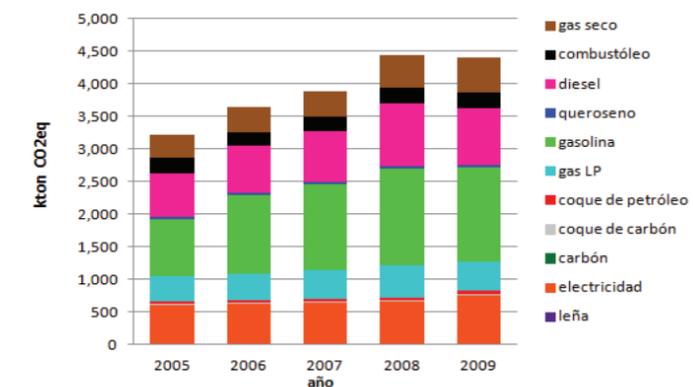


Figura 2C. Huella de Carbono total del Estado de Zacatecas.

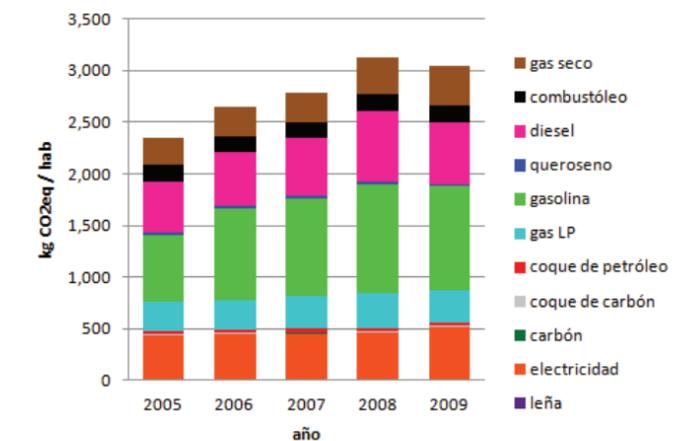


Figura 2D. Huella de carbono per cápita del Estado de Zacatecas.

BALANCE ENERGÉTICO ESTATAL

2005-2009

El Balance Energético Estatal muestra la estadística anual correspondiente a los procesos que determinan la cantidad de energía disponible y los sectores de consumo de la misma. En esta edición se presenta información detallada para el periodo 2005-2009.

Este estudio se adapta a la estructura empleada en el Balance Nacional de Energía publicado por SENER, con la finalidad de permitir la comparación con el contexto energético nacional. No obstante, algunas partes de dicha estructura han sido modificadas para permitir mayor detalle en la presentación de la información, y con ello aportar más elementos para la toma de decisiones propias de un contexto local.

ESTRUCTURA

Se analizan 10 fuentes de energía primaria y 9 de energía secundaria.

Energía primaria: Carbón mineral, Petróleo crudo, Condensados, Gas natural, Energía nuclear, Hidroenergía, Geoenergía, Energía eólica, Bagazo de caña y Leña.

Energía secundaria: Coque de carbón, Coque de petróleo, Gas licuado, Gasolinas y naftas, Querosenos, Diesel, Combustible, Gas seco y Electricidad.

Estas fuentes de energía son cuantificadas para un total de 13 procesos. Para su análisis, estos procesos se clasifican en 4 secciones (como se lista a continuación). Con signo positivo (+), se indica si aumenta la cantidad de energía disponible, y con signo negativo (-), si la cantidad de energía disponible disminuye:

Energía disponible: Producción (+), Entradas (+), Variación de inventarios (\pm), Salidas (-), Energía no aprovechada (-).

Total de transformación (\pm): Coquizadoras, Refinerías y despuntadoras, Plantas de gas y fraccionadoras, Centrales eléctricas.

Consumo del sector energético (-): Consumo propio y Pérdidas.

Consumo final total (-): Consumo final no energético y Consumo final energético clasificado por sector.

Estos procesos se ajustan a la siguiente ecuación:

$$\{\text{Energía disponible}\} = \{\text{Transformación}\} + \{\text{Consumo del sector energ.}\} + \{\text{Consumo final total}\}$$

Para una descripción detallada de la obtención de información y los cálculos realizados, se puede consultar el Anexo B11 – Método del Balance Energético Estatal.

Unidad de Energía

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece al Sistema General de Unidades de Medida como el único instrumento legal de uso obligatorio en México, donde se determina que la energía debe ser medida en Joule (J). Al unificar los datos estadísticos en esta unidad, se hace posible comparar los procesos de diferentes fuentes de energía, y analizar posibles sustitutos.

Poder calorífico bruto (PCB) y Poder calorífico neto (PCN)

El PCB es definido como la cantidad total de calor que se libera en un proceso de combustión. El PCN excluye del PCB la cantidad de calor no recuperable; equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha. Con base en el Balance Nacional de Energía, para el carbón mineral y los combustibles líquidos, se considera que el PCN es 5% menor que el PCB. Para el gas natural y sus diversas modalidades la diferencia entre PCB y PCN es de 10%.

El Balance Energético Estatal utiliza los PCN reportados en el Balance Nacional de Energía 2009 para convertir cantidades de masa o volumen de combustible en cantidades de energía.

Fuentes de energía

Energía primaria

Las fuentes de energía primaria son aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza o después de un proceso de extracción y se listan a continuación.

Carbón mineral

Combustible fósil sólido formado principalmente en el periodo carbonífero por la descomposición de plantas sumergidas en el agua. Al descomponerse, las moléculas orgánicas pierden hidrógeno y oxígeno, quedando un depósito con elevado porcentaje de carbono. El Estado de Zacatecas no cuenta con producción de este combustible, sin embargo se calcula el consumo en la rama cementera del sector industrial.

Las Coquizadoras emplean carbón siderúrgico, con bajo contenido en cenizas, para su transformación en coque o carbón metalúrgico. Las centrales eléctricas, por otra parte, utilizan carbón de alta temperatura como combustible para la generación. En Zacatecas, ambos procesos de transformación son inexistentes.

Petróleo crudo

Mezcla líquida aceitosa de color oscuro, compuesta por hidrocarburos y derivados de éstos. El petróleo crudo es procesado en refinerías para obtener combustibles y materias primas con propiedades y usos específicos. En Zacatecas no se presenta producción ni transformación de esta fuente de energía.

Condensados

Compuestos líquidos que se recuperan en los campos productores de gas asociado. Se incluyen en la cuantificación los productos que se condensan en ductos durante el transporte de gas natural. Contienen principalmente pentano y otros líquidos más pesados. Son empleados para su transformación en plantas de gas y en refinerías. El Estado de Zacatecas no cuenta con producción ni transformación de condensados.

Gas natural

Mezcla de hidrocarburos ligeros cuyo principal constituyente es el metano. También contiene etano y propano, gases inorgánicos tales como nitrógeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico en pequeñas cantidades. Se le puede encontrar asociado a los yacimientos de petróleo crudo, o independientemente en pozos de gas no asociado. En el Estado de Zacatecas no existe producción ni transformación de esta fuente de energía.

Nucleoenergía

Energía producida mediante la fisión de átomos de uranio. La energía térmica liberada se emplea para evaporar agua dentro de un ciclo termodinámico típico de generación eléctrica, basado en turbinas impulsadas por este vapor. En Zacatecas no existen centrales que aprovechen este recurso.

Hidroenergía

Energía potencial presente en un depósito hidráulico. El agua contenida o conducida artificialmente acciona turbinas generadoras de electricidad. El Estado de Zacatecas no cuenta con este tipo de centrales eléctricas.

Geoenergía

Calor presente en la corteza terrestre que procede del núcleo incandescente de la Tierra. Dicho calor evapora agua que es aprovechada para impulsar turbinas generadoras. México ocupa actualmente el tercer lugar en capacidad instalada de generación geotermoeléctrica. En el Estado de Zacatecas no existe generación de energía geotérmica.

Energía eólica

El viento se puede considerar como una forma indirecta de energía solar (ya que ésta es la principal causa del flujo de aire en la atmósfera terrestre), empleado para impulsar turbinas. No existen centrales que empleen este recurso en el Estado de Zacatecas.

Bagazo de caña

Material sólido pulposo, remanente de la extracción del jugo de caña en los ingenios azucareros. Es empleado como combustible para la generación eléctrica en los propios ingenios, o como materia prima para la elaboración de aglomerados, papel y alimento para ganado. En Zacatecas no existen ingenios azucareros.

Leña

Fuente de energía obtenida de los recursos forestales y empleada en Zacatecas en el sector residencial para la cocción de alimentos y calefacción, principalmente en zonas rurales.

Energía secundaria

Productos energéticos obtenidos a partir del procesamiento de fuentes de energía primaria en centros de transformación. Poseen las características necesarias para su consumo en sectores específicos. En el Estado de Zacatecas no existen centros de transformación que generen energía secundaria, por lo que la entidad debe cubrir la demanda con entradas provenientes de otros Estados.

Coque de carbón

Combustible duro y poroso que resulta de la destilación destructiva del carbón mineral. Se emplea principalmente como agente reductor en la fundición de hierro y como combustible en minería. Se calcula cierto consumo de esta fuente de energía en las ramas siderúrgica y minera del sector industrial.

Coque de petróleo

Combustible sólido y poroso obtenido como residuo de la destilación del petróleo. El coque producido en refinerías es conocido como coque verde o coque sin calcinar, y es empleado como fuente de energía dado su alto contenido de compuestos volátiles. El coque calcinado se utiliza como materia prima en la elaboración de pilas secas y de electrodos. En el Estado de Zacatecas se calcula un consumo de este energético en varias ramas del sector Industrial.

Gas LP

Mezcla combustible obtenida en refinerías mediante la destilación del petróleo a temperaturas inferiores a 40° C, así como en plantas de gas a partir del tratamiento de los líquidos del gas natural. Se compone principalmente de propano y butano, y es utilizado en los sectores residencial, comercial y transporte. Ingresa al Estado de Zacatecas a través de comercializadoras que distribuyen el producto a todos los sectores mencionados.

Gasolinas y naftas

Líquidos ligeros, volátiles e inflamables, obtenidos de la destilación del petróleo en refinerías, plantas de gas y fraccionadoras, con un rango de ebullición de 30 a 200° C, así como del procesamiento en plantas de gas. Incluye la gasolina de aviación (gasavión), empleada en aviones con motor de pistón; la gasolina automotriz; la gasolina natural, obtenida del gas natural; y las naftas, obtenidas del petróleo y del gas natural. Los dos últimos productos se emplean también como materia prima en la elaboración de disolventes para pinturas, barnices y limpiadores industriales. En el Estado de Zacatecas se presenta consumo energético en el sector transporte, y se calcula cierto consumo como materia prima.

Querosenos

Combustibles líquidos obtenidos de la destilación del petróleo entre 150 y 300° C, llevada a cabo en refinerías, así como del procesamiento en plantas de gas y fraccionadoras. Incluye la turbosina, empleada en aviación para impulsar motores de turbina; y el querosén común, empleado para cocción de alimentos, alumbrado, motores, refrigeración y como disolvente para asfaltos e insecticidas domésticos.

Diesel

Combustible líquido obtenido de la destilación del petróleo crudo en refinerías, entre 200 y 380° C. Es empleado en los sectores transporte (automotriz, ferroviario y marítimo) e industrial. En Zacatecas no se cuenta con consumo para el transporte marítimo, pero sí en los sectores industrial, residencial, comercial, agropecuario, autotransporte y ferroviario.

Combustóleo

Combustible residual de la refinación del petróleo y del procesamiento en plantas de gas y fraccionadoras. Es empleado en calderas, plantas de generación eléctrica y motores de navegación. En Zacatecas se consume combustóleo en el sector industrial.

Gas seco

Combustible obtenido del gas natural en refinerías y en plantas de gas, mediante la extracción de productos licuables. Está compuesto por metano y, en menor medida, por etano. Se utiliza como combustible en el sector industrial y residencial, así como en centrales eléctricas. También es empleado como materia prima en la industria petroquímica. En Zacatecas se calcula un cierto consumo de este combustible en el sector industrial.

Electricidad

Flujo de cargas eléctricas por conductos como cables metálicos (por ejemplo cobre). Esta energía es generada por el Sistema Eléctrico Nacional utilizando diversas fuentes. En Zacatecas no existen centrales de transformación eléctrica.

Procesos energéticos

Delante de cada proceso detallado a continuación, se indica con signo positivo (+) si incrementa la cantidad de energía disponible, y con signo negativo (-) si la disminuye.

Energía disponible

Está conformada por la suma algebraica de los procesos de producción, variación de inventarios, energía no aprovechada e intercambios previos al consumo.

Producción (+)

Cantidad de energía primaria que es extraída dentro de los límites estatales. En el caso de la energía secundaria, se define la Producción bruta de energía secundaria, resultado del proceso de transformación.

Entradas (+)

Cantidad de energía primaria y secundaria que se produce fuera del Estado de Zacatecas, e ingresa a éste para su consumo.

Salidas (-)

Cantidad de energía primaria y secundaria generada y destinada para su consumo fuera del territorio estatal. El estado de Zacatecas no tiene salidas.

Variación de inventarios (±)

Acumulación o reducción en las reservas estatales de las fuentes de energía primaria y secundaria que es posible almacenar. Es contabilizada como la diferencia entre la existencia inicial (al 1 de enero) y la final (al 31 de diciembre). La reducción en inventarios incrementa la energía disponible, por lo que se reporta como positiva (+); una acumulación se reporta con signo negativo (-).

Energía no aprovechada (-)

Energía que no es actualmente utilizada debido a la disponibilidad técnica o económica. Incluye los derrames de petróleo crudo, la cantidad de gas natural y de condensados enviados a la atmósfera, y el bagazo de caña no utilizado.

Total de transformación (±)

Cuantificación de la energía primaria y secundaria consumida en los centros de transformación para obtener fuentes de energía secundaria con características específicas para su consumo. Las cifras de consumo se reportan con signo negativo (-) y la cantidad de energía secundaria generada se reporta con signo positivo (+). Los centros de transformación pueden clasificarse en:

Coquizadoras

Plantas donde se obtiene coque de carbón como resultado de la combustión de carbón mineral y otros minerales carbonosos.

Refinerías y despuntadoras

Plantas donde se separa el petróleo crudo en sus diferentes componentes: gas de refinerías, gas LP, gasolinas y naftas, querosenos, diesel, combustóleo y coque de petróleo. En el Estado de Zacatecas no existen plantas de PR que desempeñen esta actividad, únicamente una Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR).

Plantas de gas y fraccionadoras

Plantas en las que se separan los componentes del gas natural para obtener gas seco, gasolinas y naftas, etano, propano y butano. PGPB no cuenta con plantas en Zacatecas, únicamente con un ducto que transporta gas seco hacia la entidad.

Centrales eléctricas

Transforman fuentes de energía primaria y secundaria en electricidad. Se clasifican en cinco tipos de acuerdo a la fuente energética empleada.

Termoeléctricas: funcionan mediante turbinas accionadas por vapor de agua generado mediante la combustión de productos petrolíferos, gas seco o carbón mineral.

Nucleoeléctricas: funcionan como una termoeléctrica en la que el calor requerido para la generación de vapor se obtiene mediante una reacción nuclear de fisión.

Hidroeléctricas: las turbinas de estas plantas, conectadas a generadores, son impulsadas por un flujo de agua constante.

Geotermoeléctricas: El vapor para mover los generadores eléctricos se obtiene directamente del subsuelo.

Eoloeléctricas: Los generadores eléctricos son impulsados mediante la energía del viento.

En Zacatecas no existen centrales eléctricas.

Consumo del sector energético

Incluye el consumo propio del sector energético y las pérdidas dentro de éste.

Consumo propio (-)

Energía primaria y secundaria que el sector energético emplea para el funcionamiento de sus propias instalaciones. En el Estado de Zacatecas no existe actividad de transformación en el sector eléctrico, sin embargo presenta consumo por transmisión.

Pérdidas (-)

Consisten en mermas energéticas que ocurren en las actividades que van desde la producción hasta el consumo final. En el Estado de Zacatecas sólo se presentan pérdidas de electricidad debidas a las actividades de transmisión y distribución.

Consumo final total

Energía y materia prima destinadas a los distintos sectores económicos para su consumo. Se clasifica en consumo energético y consumo no energético. El consumo final de energía primaria es significativo únicamente para carbón, bagazo de caña y leña.

Consumo final no energético (-)

Cantidad de las fuentes de energía empleadas como materia prima para la elaboración de productos que no serán usados con fines energéticos. Se clasifica en dos ramas del sector industrial.

Consumo en petroquímica de Pemex

Consumo en la rama química.

En Zacatecas sólo se presenta consumo no energético en la rama química, pues PPQ no cuenta con plantas en la entidad.

Consumo final energético (-)

Consumo llevado a cabo por los consumidores finales de los siguientes sectores económicos:

Residencial, comercial y público

Residencial: energía empleada para cocción de alimentos, calentamiento de agua, iluminación, refrigeración, planchado, entre otros.

Comercial: consumo en locales comerciales, restaurantes, hoteles, entre otros.

Público: incluye alumbrado, bombeo de agua potable y de aguas negras.

Transporte: incluye consumo energético en autotransporte, ferroviario, marítimo y eléctrico.

Agropecuario: consumo energético efectuado por todas las actividades relacionadas directamente con la agricultura y la ganadería, como es el caso de la electricidad para bombeo de agua y riego, el uso de combustibles para maquinaria agrícola, entre otros.

Industrial: se clasifica en 17 ramas. Petroquímica de Pemex, siderurgia, química, azúcar, cemento, minería, celulosa y papel, vidrio, cerveza y malta, fertilizantes, automotriz, aguas envasadas, construcción, hule, aluminio, tabaco, y otras ramas.

Diferencia estadística

Variable de ajuste empleada para compensar las diferencias entre la energía disponible y la demanda energética, debidas a variaciones entre las fuentes de información o a procesos no contemplados en el estudio.

En este documento, la diferencia estadística se reporta como no disponible (n.d.), al no haber más de una fuente de información para cada proceso.

MATRICES Y DIAGRAMAS

Las Tablas del 1 al 10 muestran la información anual en forma de arreglo matricial, correspondiente a los procesos de cada fuente de energía primaria y secundaria durante el periodo 2005-2009. Las fuentes de energía se presentan en columnas y los procesos en filas.

El color de fuente gris indica que el proceso no aplica a la fuente de energía señalada. Con color azul se muestran los totales.

La suma algebraica de las cifras de una fuente de energía, es decir, de una columna, da como resultado la diferencia estadística. Esta diferencia estadística se reporta como no disponible (n.d.), cuando se supuso igual a cero para permitir el cálculo de algún proceso específico mediante la ecuación del balance.

Los Diagramas 1 a 5 ilustran gráficamente los flujos de cada fuente de energía durante el periodo de estudio en forma cualitativa y cuantitativa, mediante diagramas de Sankey.

Matriz 1.1. Balance energético estatal 2005

Energía primaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleoenergía	Hidroenergía	Geoenergía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Total de energía primaria
Energía disponible	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.027
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.013
Entradas	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final total	-0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	-0.027
Consumo final no energético	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final energético	-0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	-0.027
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	-0.013
Transporte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agropecuaria	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	-0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013
Diferencia estadística	n. d.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Matriz 1.3. Balance energético estatal 2006

Energía primaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleoenergía	Hidroenergía	Geoenergía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Total de energía primaria
Energía disponible	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.064
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.047
Entradas	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final total	-0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.047	-0.064
Consumo final no energético	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final energético	-0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.047	-0.064
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.047	-0.047
Transporte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agropecuaria	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	-0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.017
Diferencia estadística	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Matriz 1.2. Balance energético estatal 2005

Energía secundaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas seco	Electricidad	Total de energía secundaria	Total
Energía disponible	0.163	0.323	6.168	12.783	0.480	8.933	2.951	5.571	7.021	44.394	44.420
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
Entradas	0.163	0.323	6.168	12.804	0.480	8.859	2.951	5.571	7.021	44.342	44.355
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	-0.022	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000	0.052	0.052
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	-0.003	-0.003
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.273	-1.273	-1.273
Consumo final total	-0.163	-0.323	-6.168	-12.783	-0.480	-8.933	-2.951	-5.571	-5.746	-43.118	-43.144
Consumo final no energético	0.000	0.000	-0.001	-0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.049	-0.049
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	-0.001	-0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.049	-0.049
Consumo final energético	-0.163	-0.323	-6.167	-12.735	-0.480	-8.933	-2.951	-5.571	-5.746	-43.069	-43.096
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	-4.703	0.000	-0.011	-0.038	0.000	0.000	-2.434	-7.187	-7.200
Transporte	0.000	0.000	-0.830	-12.735	-0.468	-6.565	0.000	0.000	0.000	-20.599	-20.599
Agropecuaria	0.000	0.000	-0.115	0.000	0.000	-1.626	0.000	0.000	-1.730	-3.471	-3.471
Industrial	-0.163	-0.323	-0.519	0.000	0.000	-0.703	-2.951	-5.571	-1.581	-11.813	-11.826
Producción bruta de energía secundaria	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diferencia estadística	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	0.000	0.000

Matriz 1.4. Balance energético estatal 2006

Energía secundaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas seco	Electricidad	Total de energía secundaria	Total
Energía disponible	0.142	0.443	6.344	17.435	0.570	9.664	2.632	6.015	6.953	50.199	50.263
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
Entradas	0.142	0.443	6.344	17.404	0.570	9.735	2.632	6.015	6.953	50.239	50.256
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000	-0.071	0.000	0.000	0.000	-0.040	-0.040
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	-0.003	-0.003
Perdidas (transp., alm. y dist.)											

Matriz 1.5. Balance energético estatal 2007

Energía primaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleo-energía	Hidro-energía	Geo-energía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Total de energía primaria
Energía disponible	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.034
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
Entradas	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final total	-0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.014	-0.034
Consumo final no energético	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final energético	-0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.014	-0.034
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.014	-0.014
Transporte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agropecuario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	-0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.020
Producción bruta de energía secundaria											
Diferencia estadística	n. d.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Matriz 1.7. Balance energético estatal 2008

Energía primaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleo-energía	Hidro-energía	Geo-energía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Total de energía primaria
Energía disponible	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.039
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.015
Entradas	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final total	-0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.039
Consumo final no energético	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final energético	-0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.039
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.015
Transporte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agropecuario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	-0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.024
Diferencia estadística	n. d.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Matriz 1.6. Balance energético estatal 2007

Energía secundaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustible	Gas seco	Electricidad	Total de energía secundaria	Total
Energía disponible	0.137	0.460	7.056	18.972	0.466	10.457	2.767	6.192	7.129	53.636	53.671
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014
Entradas	0.137	0.460	7.056	19.021	0.466	10.502	2.767	6.192	7.129	53.730	53.750
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	-0.049	0.000	-0.045	0.000	0.000	0.000	-0.094	-0.094
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.002	-0.002
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.032	-1.032	-1.032
Consumo final total	-0.137	-0.460	-7.056	-18.972	-0.466	-10.457	-2.767	-6.193	-6.094	-52.603	-52.637
Consumo final no energético	0.000	0.000	-0.001	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.008
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	-0.001	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.008
Consumo final energético	-0.137	-0.460	-7.055	-18.966	-0.466	-10.457	-2.767	-6.193	-6.094	-52.595	-52.629
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	-5.562	0.000	-0.013	-0.045	0.000	0.000	-2.667	-8.287	-8.301
Transporte	0.000	0.000	-0.711	-18.966	-0.453	-7.761	0.000	0.000	0.000	-27.890	-27.890
Agropecuario	0.000	0.000	-0.076	0.000	0.000	-1.925	0.000	0.000	-1.648	-3.649	-3.649
Industrial	-0.137	-0.460	-0.706	0.000	0.000	-0.727	-2.767	-6.193	-1.780	-12.769	-12.790
Diferencia estadística	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	-0.001	-0.001

Matriz 1.8. Balance energético estatal 2008

Energía secundaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustible	Gas seco	Electricidad	Total de energía secundaria	Total
Energía disponible	0.195	0.469	7.781	21.448	0.434	13.054	2.946	7.697	7.504	61.528	61.567
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
Entradas	0.195	0.469	7.781	21.424	0.434	13.025	2.946	7.697	7.504	61.474	61.498
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.054	0.054
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.						

Matriz 1.9. Balance energético estatal 2009

Energía primaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas natural	Nucleo-energía	Hidro-energía	Geo-energía	Energía eólica	Bagazo de caña	Leña	Total de energía primaria
Energía disponible	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.032
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.013
Entradas	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final total	-0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	-0.032
Consumo final no energético	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo final energético	-0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	-0.032
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	-0.013
Transporte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agropecuario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	-0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.019
Diferencia estadística	n. d.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Matriz 1.10. Balance energético estatal 2009

Energía secundaria en petajoules (PJ)

Petajoules	Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas seco	Electricidad	Total de energía secundaria	Total
Energía disponible	0.209	0.493	7.081	20.942	0.349	11.720	3.186	8.411	8.464	60.855	60.887
Producción	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
Entradas	0.209	0.493	7.081	20.917	0.349	11.731	3.186	8.411	8.464	60.841	60.860
Variación de inventarios	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
Salidas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No aprovechada	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total transformación	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coquizadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Refinerías y despuntadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Plantas de gas y fraccionadoras	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Centrales eléctricas CFE y LFC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo propio del sector	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	-0.003	-0.003
Perdidas (transp., alm. y dist.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.299	-1.299	-1.299
Consumo final total	-0.209	-0.493	-7.081	-20.942	-0.349	-11.720	-3.186	-8.411	-7.163	-59.553	-59.585
Consumo final no energético	0.000	0.000	-0.003	-0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.017	-0.017
Petroquímica de Pemex	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas económicas	0.000	0.000	-0.003	-0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.017	-0.017
Consumo final energético	-0.209	-0.493	-7.078	-20.928	-0.349	-11.720	-3.186	-8.411	-7.163	-59.536	-59.569
Residencial, comercial y público	0.000	0.000	-5.453	0.000	-0.007	-0.039	0.000	0.000	-2.948	-8.448	-8.461
Transporte	0.000	0.000	-0.606	-20.928	-0.341	-8.113	0.000	0.000	0.000	-29.988	-29.988
Agropecuario	0.000	0.000	-0.081	0.000	0.000	-2.298	0.000	0.000	-1.882	-4.262	-4.262
Industrial	-0.209	-0.493	-0.938	0.000	0.000	-1.270	-3.186	-8.411	-2.332	-16.839	-16.858
Producción bruta de energía secundaria	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diferencia estadística	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	0.000	0.000

Producción

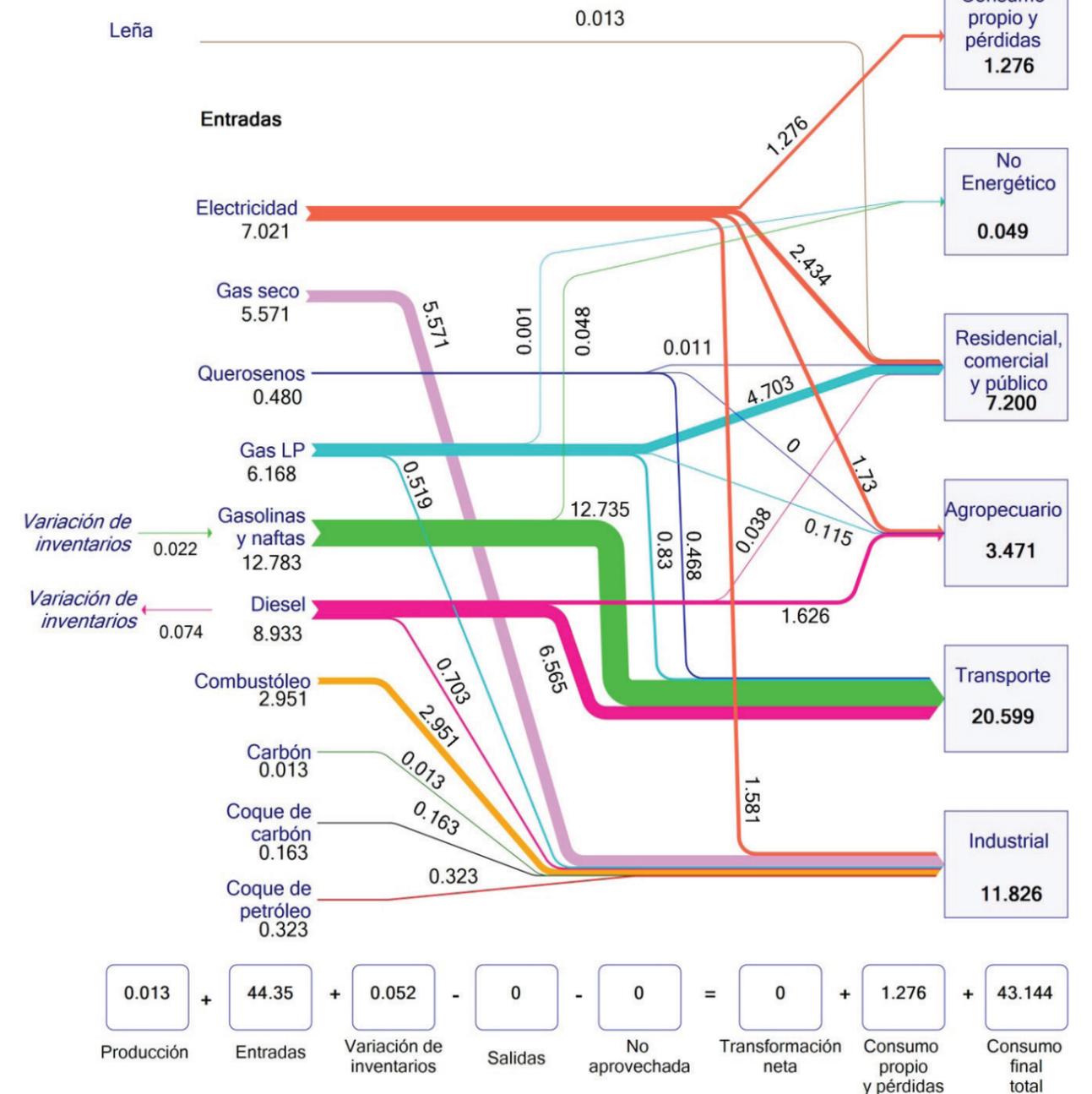


Diagrama 1.1. Balance energético estatal 2005, en petajoules (PJ)

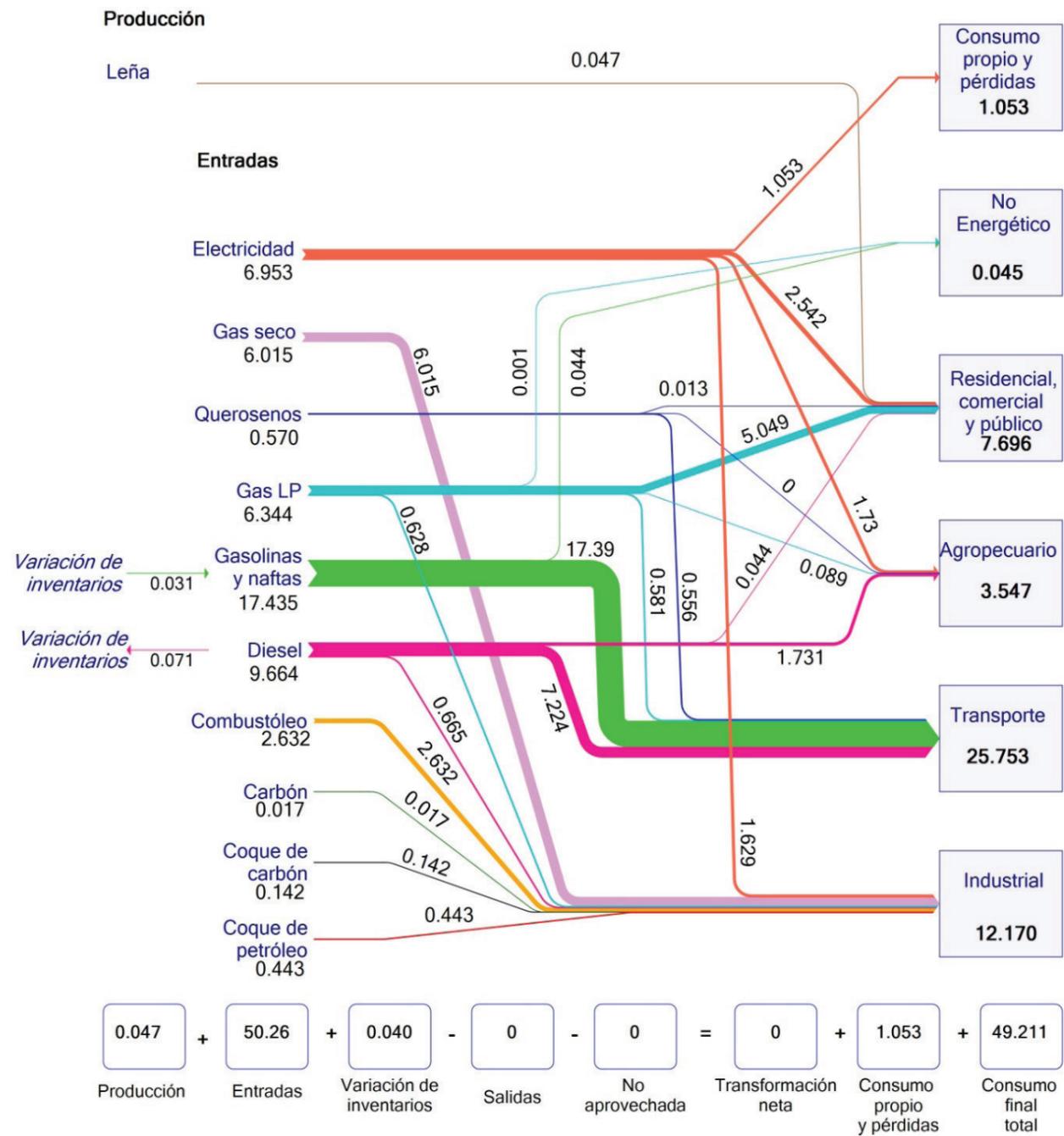


Diagrama 1.2. Balance energético estatal 2006, en petajoules (PJ).

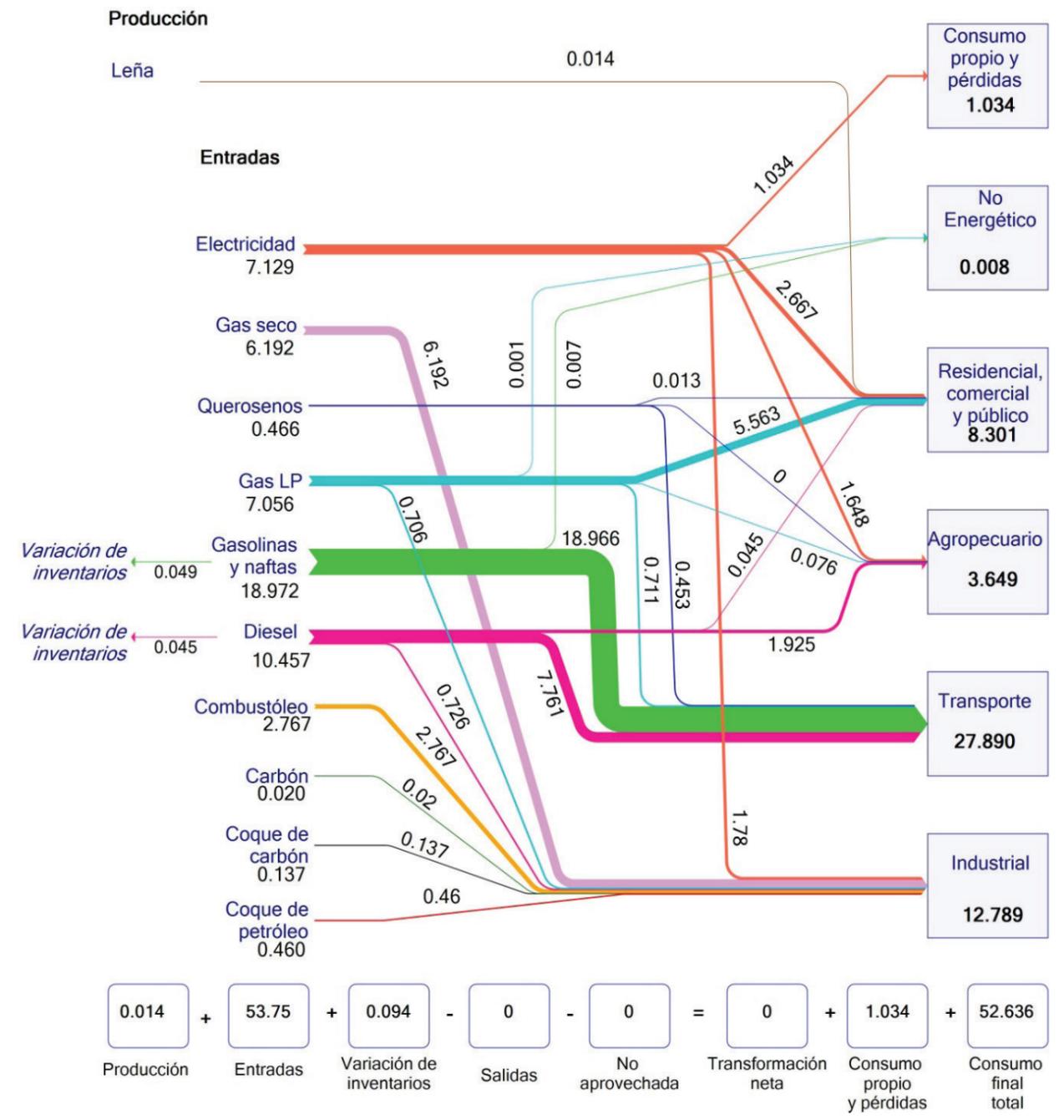


Diagrama 1.3. Balance energético estatal 2007, en petajoules (PJ).

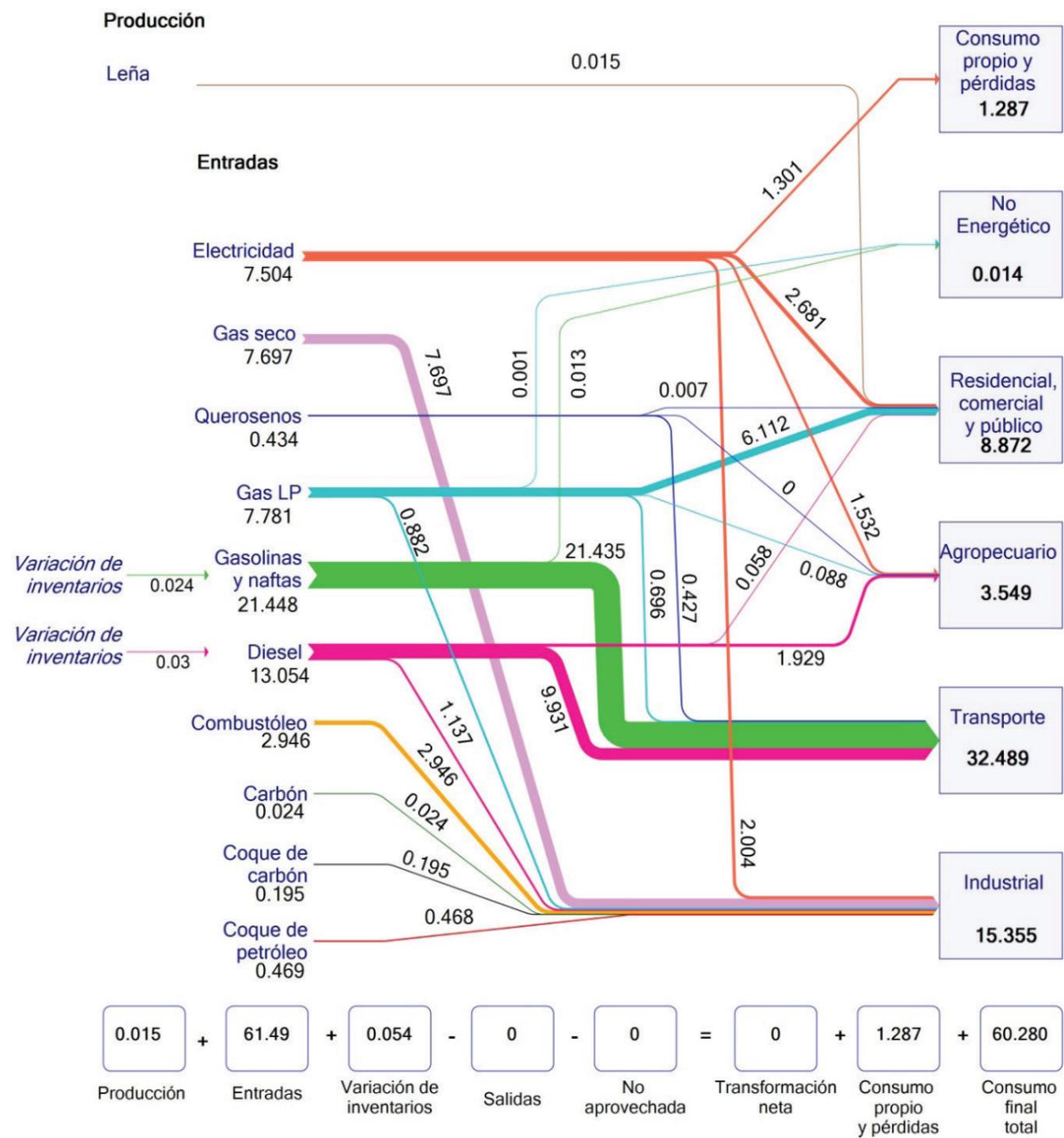


Diagrama 1.4. Balance energético estatal 2008, en petajoules (PJ).

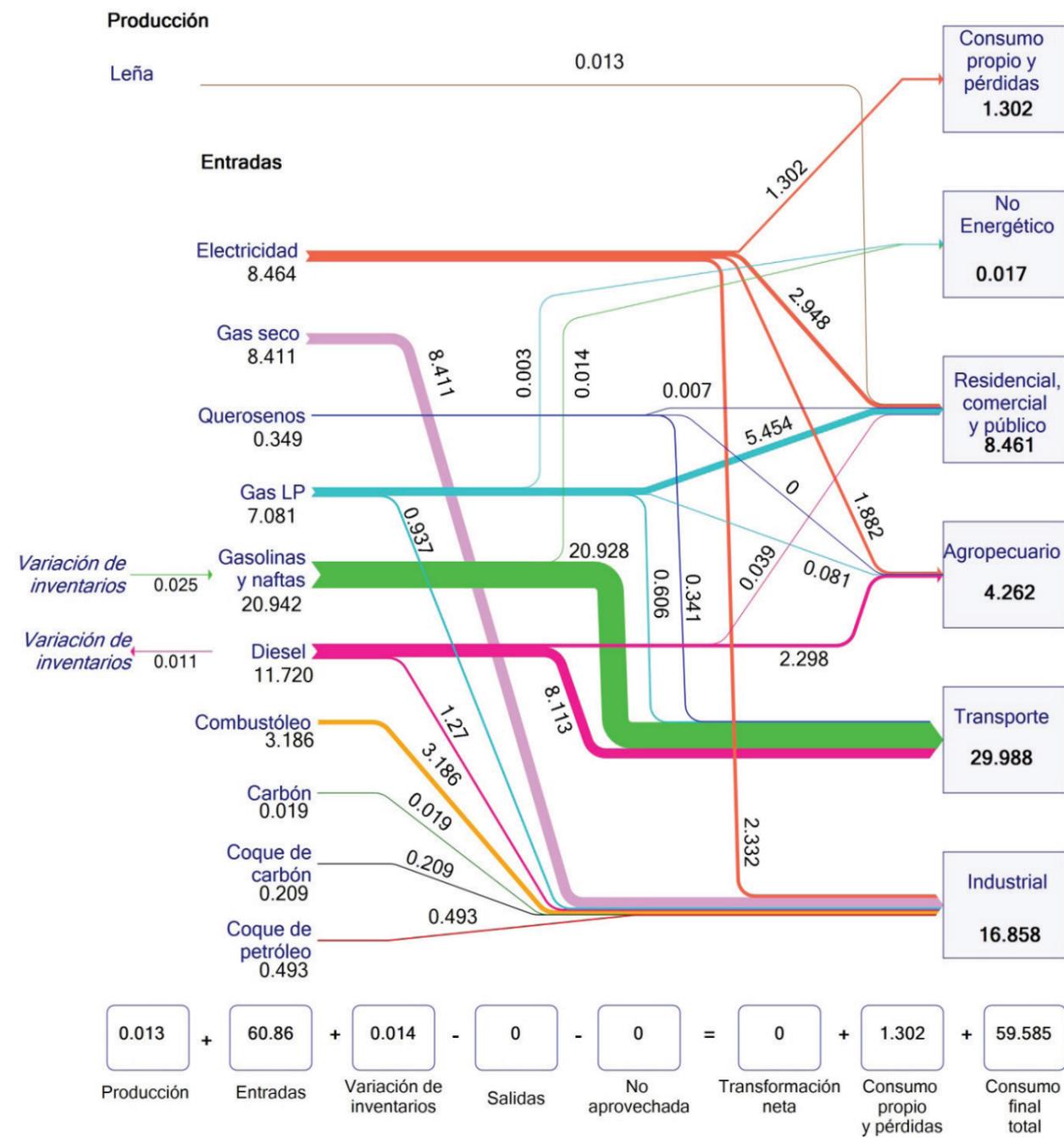


Diagrama 1.5. Balance energético estatal 2009, en petajoules (PJ).

ANÁLISIS

Considerando los procesos existentes en el Estado de Zacatecas, la descripción energética estatal se basa únicamente en el análisis de los procesos de consumo. Esto permite evaluar la dependencia energética del Estado de Zacatecas. Finalmente se analiza la correlación del sector energético con factores económicos.

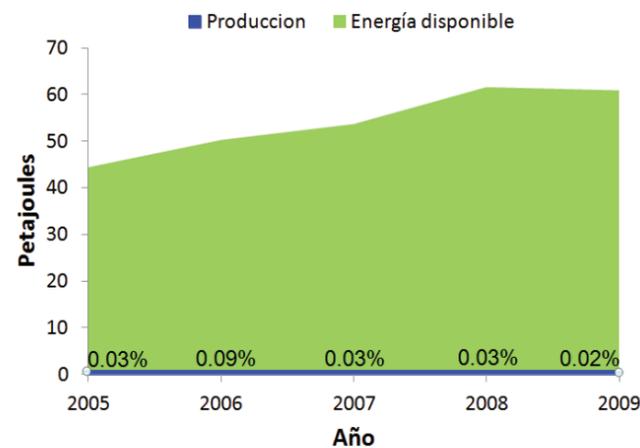
Producción

En el Estado de Zacatecas de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede decir que no se produce energía suficiente para satisfacer su demanda. La Tabla 1.1 muestra la comparación anual de la producción y las entradas de energía estatal; con la energía disponible, desglosada por fuente. Se observa que el porcentaje promedio con que la producción estatal contribuyó a la energía disponible es del 0.04%, presentándose un pico al aumentar de 0.03% en 2005 a 0.09% en 2006 para volver a disminuir a partir de 2007. (Figura 1.1).

Tabla 1.1. Producción estatal de energía, entradas y total de energía disponible (incluye cuantificación de electricidad).

Petajoules	Producción de energía					Entradas					Energía disponible				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
Carbón						0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04
Leña	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01						0.01	0.05	0.01	0.02	0.01
C. de carbón						0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
C. de petróleo						0.59	0.68	0.73	0.76	0.77	0.59	0.68	0.73	0.76	0.77
Gas LP						6.05	6.18	6.86	7.60	6.98	6.05	6.18	6.86	7.60	6.98
Gasolinas y n.						12.78	17.44	18.97	21.45	20.94	12.78	17.44	18.97	21.45	20.94
Querosenos						0.48	0.57	0.47	0.43	0.35	0.48	0.57	0.47	0.43	0.35
Diesel						8.93	9.66	10.46	13.05	11.72	8.93	9.66	10.46	13.05	11.72
Combustóleo						2.12	1.81	1.91	1.92	1.94	2.12	1.81	1.91	1.92	1.94
Gas seco						2.18	2.59	2.67	2.88	2.97	2.18	2.59	2.67	2.88	2.97
Electricidad						5.75	5.90	6.09	6.22	7.16	5.75	5.90	6.09	6.22	7.16
Total	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	38.90	44.86	48.17	54.33	52.85	38.95	44.93	48.23	54.39	52.91

Porcentaje de energía disponible cubierto con producción estatal



Consumo final total

La Tabla 1.2 muestra las cifras anuales de todas las fuentes de energía consumidas en el Estado de Zacatecas, así como el porcentaje que representa cada una respecto del total.

La estructura porcentual del consumo energético anual se ilustra en las gráficas de la Figura 1.2. Las fuentes de energía de mayor relevancia son las gasolinas y el diesel, que promedian 54% del consumo final total en conjunto, durante el periodo de estudio.

En la Figura 1.3 se ilustran la variación porcentual anual en el consumo de cada una de las fuentes de energía empleadas en Zacatecas. El consumo de electricidad, coque de petróleo y gas seco presenta un aumento constante durante todo el periodo de estudio. En el caso del gas licuado y carbón, se presenta un comportamiento semejante, alcanzando un máximo en 2008 para después disminuir en 2009. Contrario a esto, el consumo de queroseno y leña presentaron una disminución continua a partir de 2007.

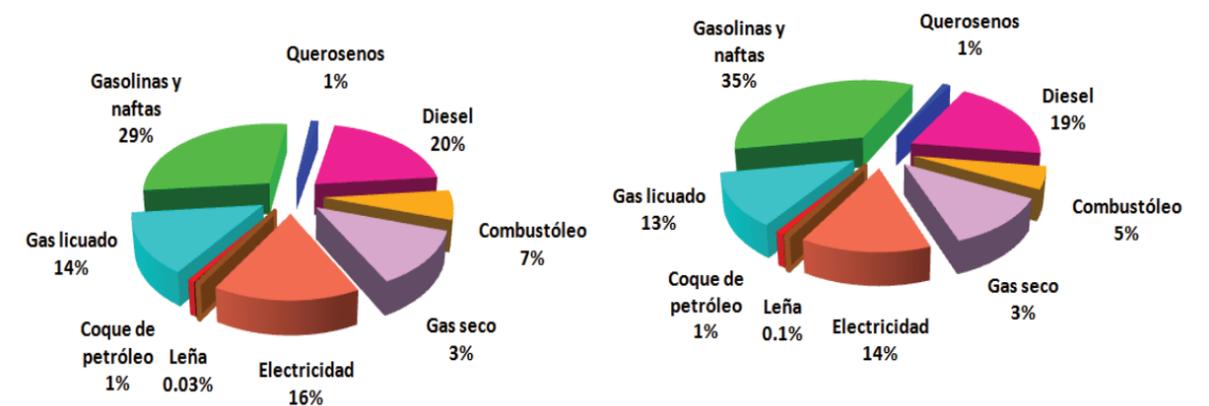
El consumo de gasolinas y diesel mantuvo su crecimiento hasta 2008, para disminuir de forma similar a las demás fuentes de energía en 2009.

En la figura 1.4 se muestra la evolución anual del consumo de cada una de las fuentes de energía. La disminución en el consumo total de energía de 2008 a 2009 se puede deber tanto a la recesión económica², como al alza de los precios de los combustibles y a las políticas de ahorro energético³. A nivel federal CFE impulsó el reemplazo de refrigeradores y lámparas incandescentes, sin embargo se desconoce el nivel de contribución de estas medidas.

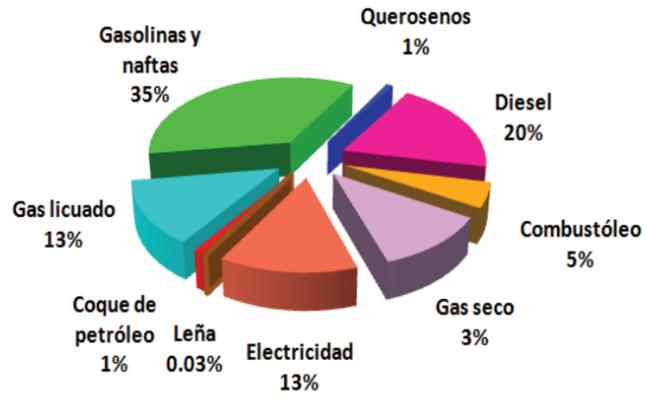
Tabla 1.2. Consumo final de energía (PJ).

Petajoules	Consumo final de energía					Estructura porcentual				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005 %	2006 %	2007 %	2008 %	2009 %
Carbón	0.013	0.017	0.020	0.024	0.019	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
Leña	0.013	0.047	0.014	0.015	0.013	0.03	0.09	0.03	0.03	0.02
Coque de carbón	0.163	0.142	0.137	0.195	0.209	0.37	0.28	0.26	0.32	0.34
Coque de petróleo	0.323	0.443	0.460	0.469	0.493	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8
Gas licuado	6.168	6.344	7.056	7.781	7.081	13.9	12.6	13.1	12.6	11.6
Gasolinas y naftas	12.783	17.435	18.972	21.448	20.942	28.8	34.7	35.3	34.8	34.4
Querosenos	0.480	0.570	0.466	0.434	0.349	1.1	1.1	0.9	0.7	0.6
Diesel	8.933	9.664	10.457	13.054	11.720	20.1	19.2	19.5	21.2	19.2
Combustóleo	2.951	2.632	2.767	2.946	3.186	6.6	5.2	5.2	4.8	5.2
Gas seco	5.571	6.015	6.192	7.697	8.411	12.5	12.0	11.5	12.5	13.8
Electricidad	7.021	6.953	7.129	7.504	8.464	15.8	13.8	13.3	12.2	13.9
Total	44.420	50.263	53.671	61.567	60.887					

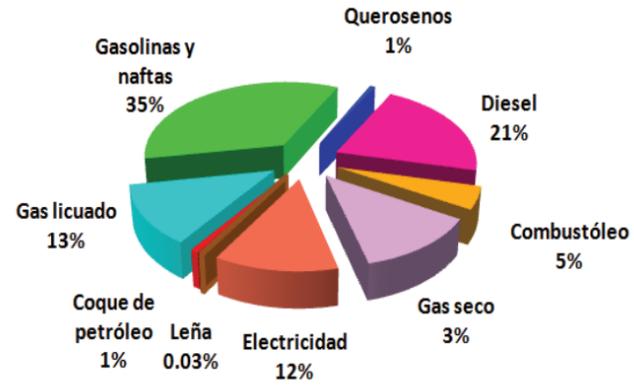
Estructura porcentual 2005



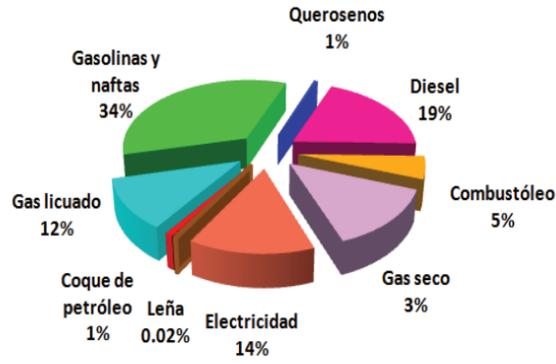
Estructura porcentual 2007



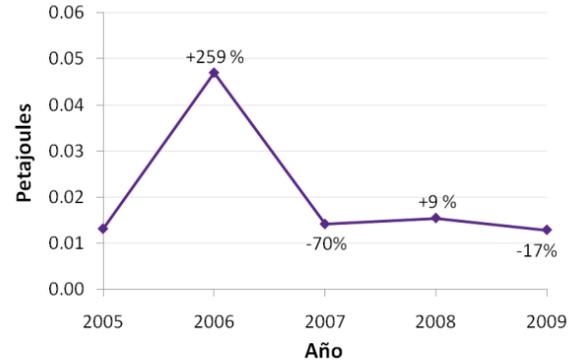
Estructura porcentual 2008



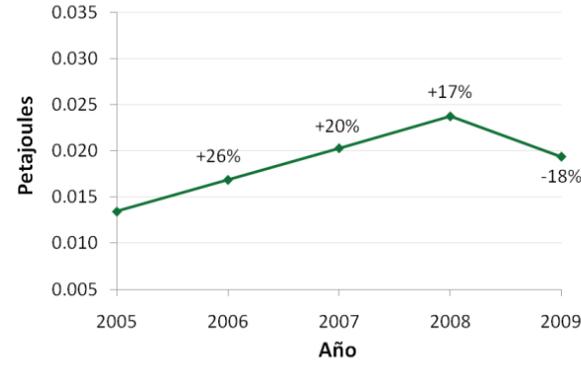
Estructura porcentual 2009



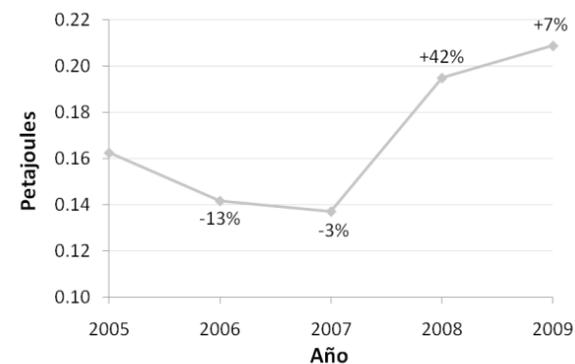
Leña



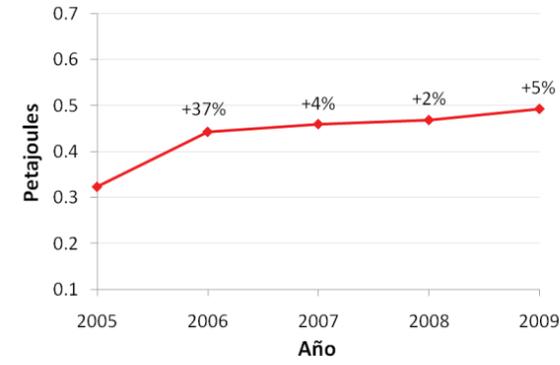
Carbón



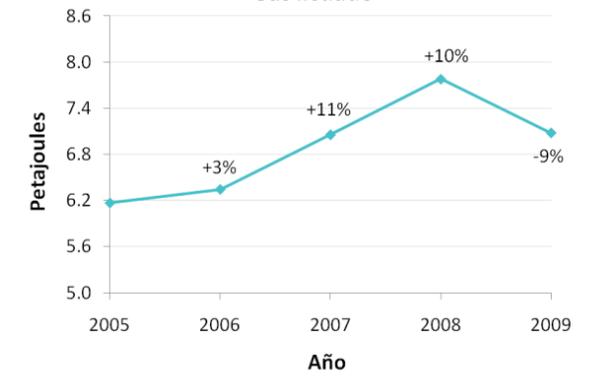
Coque de carbón



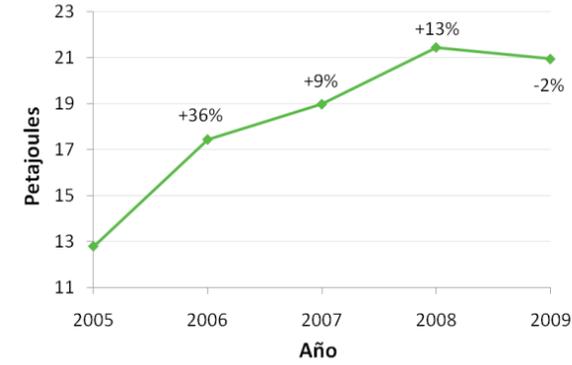
Coque de petróleo



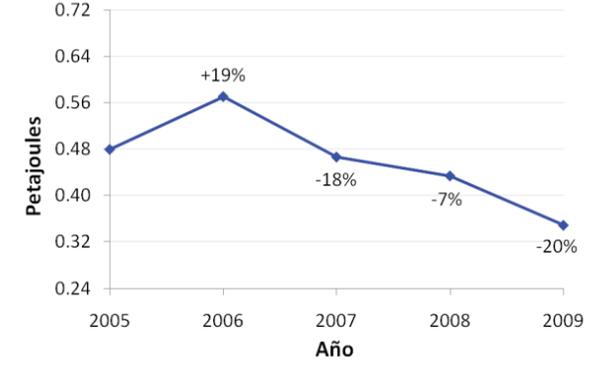
Gas licuado



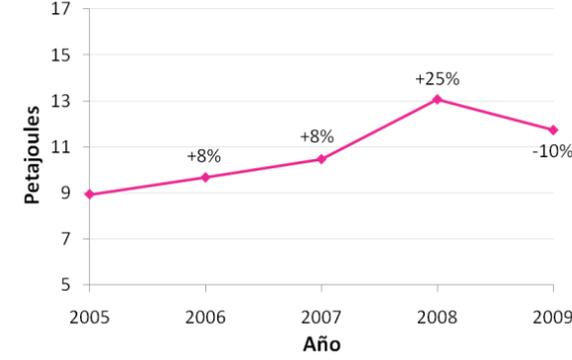
Gasolinas y naftas



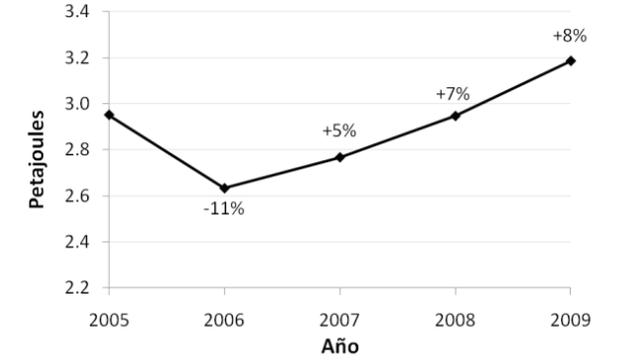
Querosenos



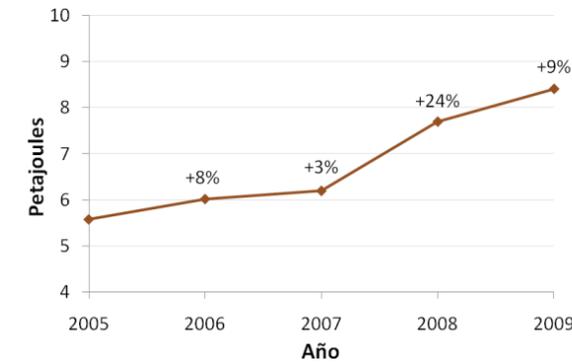
Diesel



Combustóleo



Gas seco



Electricidad

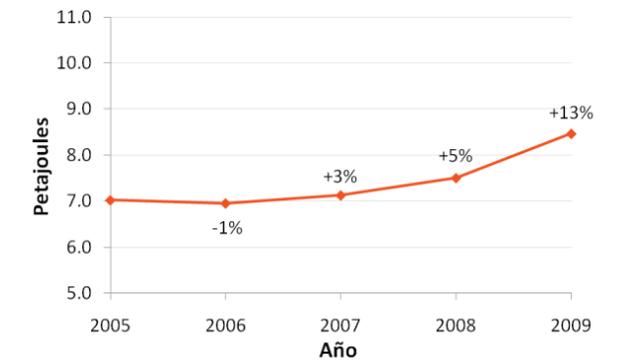


Figura 1.3 (continuación). Variación porcentual del consumo final anual de energía.

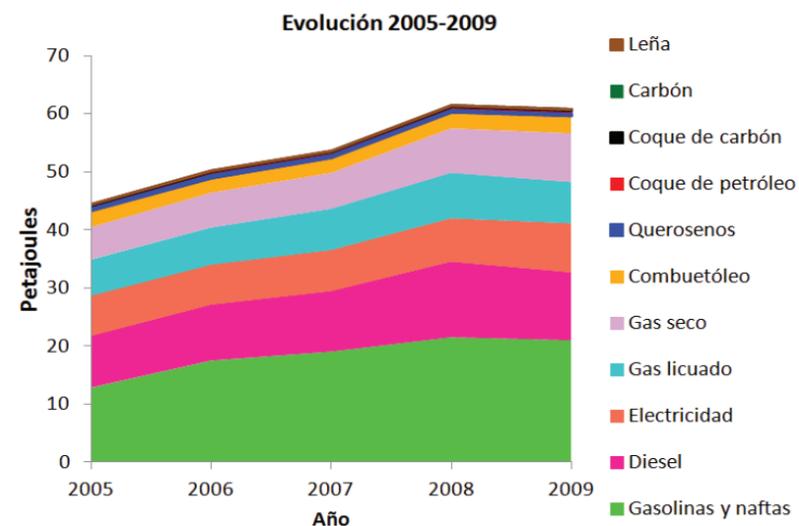


Figura 1.4. Evolución anual del consumo final de energía.

Consumo en el sector industrial

Con base en la relevancia del consumo energético, el sector industrial está clasificado en 17 ramas en el Balance Nacional de Energía. Estas ramas son: petroquímica de Pemex, siderurgia, química, azúcar, cemento, minería, celulosa y papel, vidrio, cerveza y malta, fertilizantes, automotriz, aguas envasadas, construcción, hule, aluminio, tabaco, y otras ramas.

En la Tabla 1.3 se listan los consumos anuales de las fuentes de energía empleadas por cada rama industrial.

Las gráficas de la Figura 1.5 ilustran la evolución anual en el consumo de cada fuente de energía.

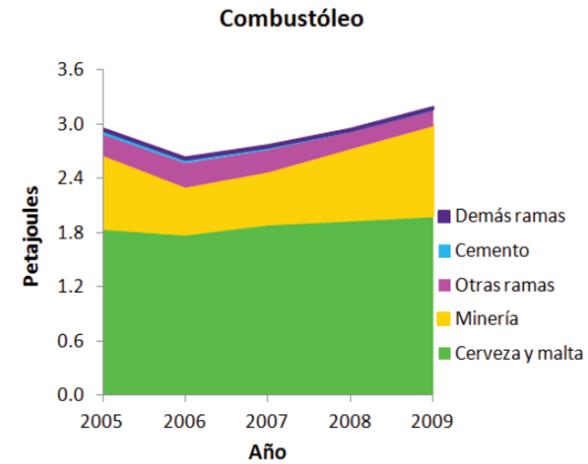
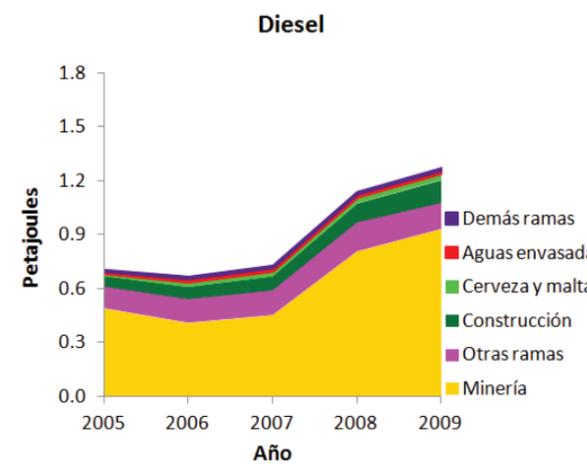
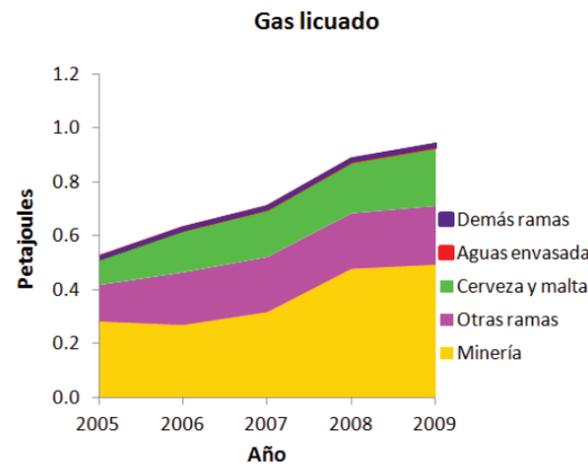
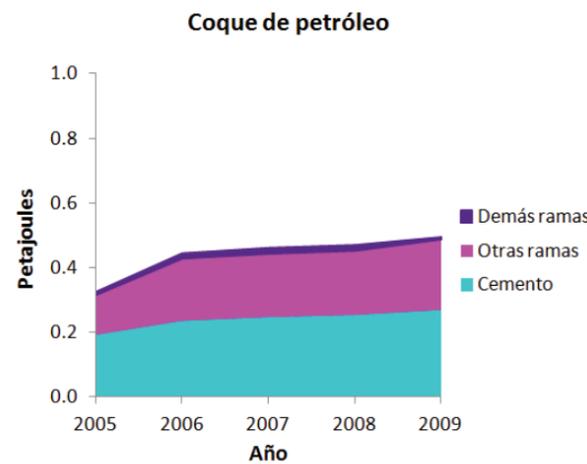
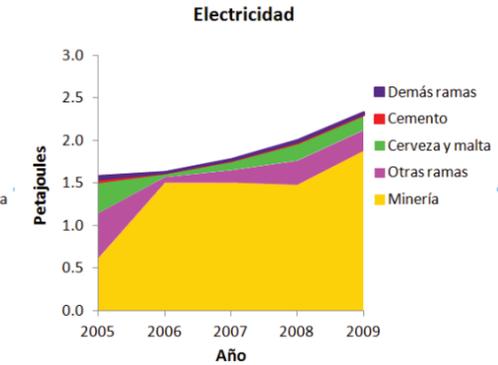
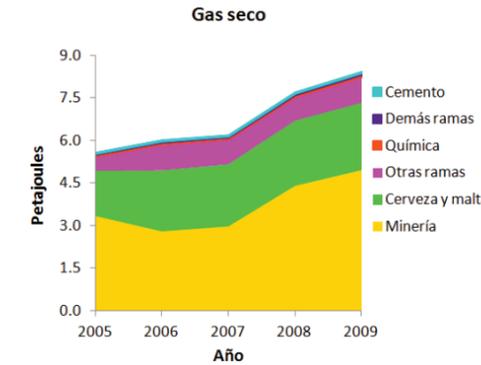
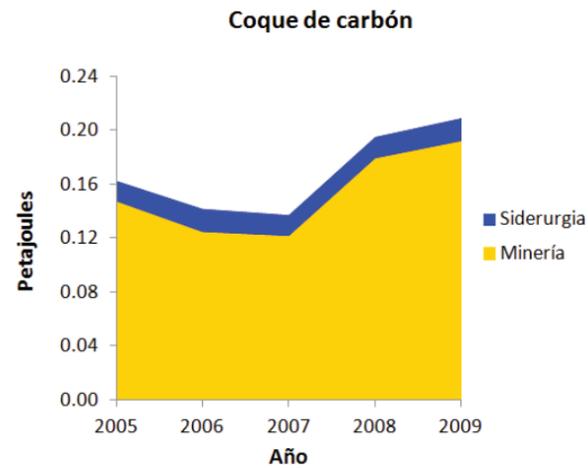
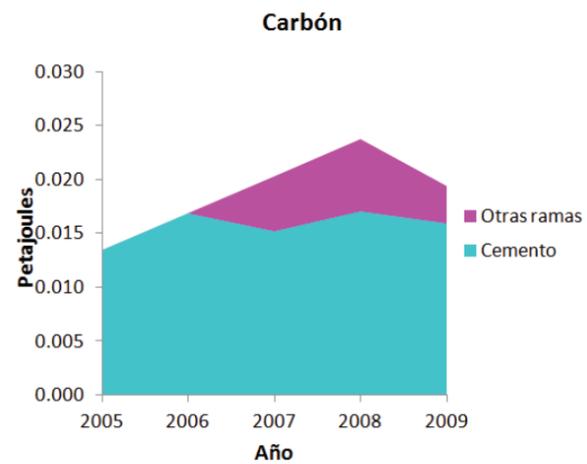
El carbón se consume significativamente sólo en la rama cementera, esta tiene poca presencia en el Estado de Zacatecas, por lo que el consumo energético de carbón es mínimo; presenta un consumo sostenido de 2005 a 2008 y una disminución en 2009.

La rama minera, de gran relevancia estatal, presentó un crecimiento sostenido de 2005 a 2009 en los consumos de coque de carbón, diesel, combustóleo, gas seco y electricidad. En 2008 se produjo un aumento considerable en el consumo de gas seco y electricidad.

A excepción del consumo de diesel y carbón que presentaron una disminución en el año 2009, todos los combustibles en el sector industrial mantuvieron un aumento constante durante el periodo de estudio.

Tabla 1.3. Consumo energético en el sector industrial en Petajoules.

Petajoules	Consumo del sector industrial					Petajoules	Consumo del sector industrial				
	2005	2006	2007	2008	2009		2005	2006	2007	2008	2009
Carbón	0.013	0.017	0.020	0.024	0.019	Combustóleo	2.951	2.632	2.767	2.946	3.186
Cemento	0.013	0.017	0.015	0.017	0.016	Cemento	0.049	0.043	0.033	0.019	0.019
Otras ramas	0.000	0.000	0.005	0.007	0.003	Siderurgia	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Coque de carbón	0.163	0.142	0.137	0.195	0.209	Celulosa y papel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Siderurgia	0.015	0.017	0.016	0.016	0.017	Minería	0.792	0.506	0.560	0.774	0.976
Minería	0.147	0.125	0.122	0.179	0.192	Cerveza y malta	1.856	1.792	1.905	1.947	1.995
Coque de petróleo	0.323	0.443	0.460	0.469	0.493	Química	0.011	0.012	0.012	0.009	0.011
Cemento	0.192	0.236	0.247	0.254	0.269	Aguas envasadas	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008
Siderurgia	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	Vidrio	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Química	0.004	0.010	0.012	0.012	0.001	Hule	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vidrio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Otras ramas	0.232	0.268	0.246	0.186	0.172
Otras ramas	0.126	0.195	0.199	0.201	0.221	Gas seco	5.571	6.015	6.192	7.697	8.411
Gas licuado	0.519	0.628	0.706	0.883	0.938	Siderurgia	0.023	0.028	0.028	0.033	0.032
Minería	0.284	0.270	0.318	0.479	0.494	Minería	3.344	2.802	2.976	4.400	4.954
Cerveza y malta	0.097	0.156	0.177	0.191	0.218	Celulosa y papel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Aguas envasadas	0.003	0.005	0.005	0.006	0.006	Química	0.056	0.057	0.053	0.054	0.066
Automotriz	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	Cemento	0.019	0.020	0.018	0.021	0.025
Celulosa y papel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Automotriz	0.003	0.007	0.007	0.007	0.004
Química	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	Aguas envasadas	0.013	0.015	0.015	0.015	0.016
Siderurgia	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Cerveza y malta	1.586	2.145	2.187	2.300	2.373
Vidrio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Vidrio	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008
Hule	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Hule	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas	0.134	0.19445	0.20366	0.20468	0.21731	Otras ramas	0.520	0.933	0.900	0.860	0.933
Diesel	0.703	0.665	0.726	1.137	1.270	Electricidad	1.581	1.629	1.780	2.004	2.332
Construcción	0.060	0.069	0.080	0.105	0.126	Siderurgia	0.005	0.001	0.001	0.002	0.002
Minería	0.489	0.407	0.450	0.805	0.930	Cemento	0.030	0.003	0.005	0.010	0.007
Aguas envasadas	0.011	0.017	0.018	0.019	0.019	Automotriz	0.006	0.001	0.002	0.003	0.002
Siderurgia	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Minería	0.616	1.502	1.505	1.479	1.879
Automotriz	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	Cerveza y malta	0.374	0.055	0.117	0.217	0.190
Química	0.003	0.005	0.005	0.005	0.007	Celulosa y papel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Celulosa y papel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Química	0.008	0.001	0.003	0.005	0.005
Cemento	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Aguas envasadas	0.007	0.001	0.002	0.003	0.003
Cerveza y malta	0.019	0.032	0.034	0.038	0.040	Construcción	0.008	0.001	0.002	0.004	0.004
Vidrio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Vidrio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hule	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Hule	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otras ramas	0.120	0.132	0.138	0.162	0.146	Otras ramas	0.528	0.064	0.143	0.281	0.240



Transformación en centrales eléctricas

El Estado de Zacatecas no cuenta con centrales para la generación de electricidad, tampoco se reporta generación por permisionarios para en el sector industrial.

Correlación Consumo energético – PIB.

Durante el periodo analizado, el consumo de energía per cápita en Zacatecas aumentó de 32.48 GJ/hab en 2005 a 43.32 GJ/hab en 2008, para posteriormente disminuir en 2009 a 41.93 GJ/hab. El consumo se incrementó en un 29.1% de 2005 a 2009 (Figura 1.6).

En la Figura 1.7 se muestra la tendencia que existe entre el consumo energético y el PIB, tanto en valores totales como per cápita. Se observa que de 2005 a 2008 existe una fuerte correlación entre ambos valores.

Lo anterior permite concluir que el consumo energético se vio afectado por factores económicos, y que factores como las recientes políticas de ahorro energético pudieron contribuir a la disminución en el consumo estatal.

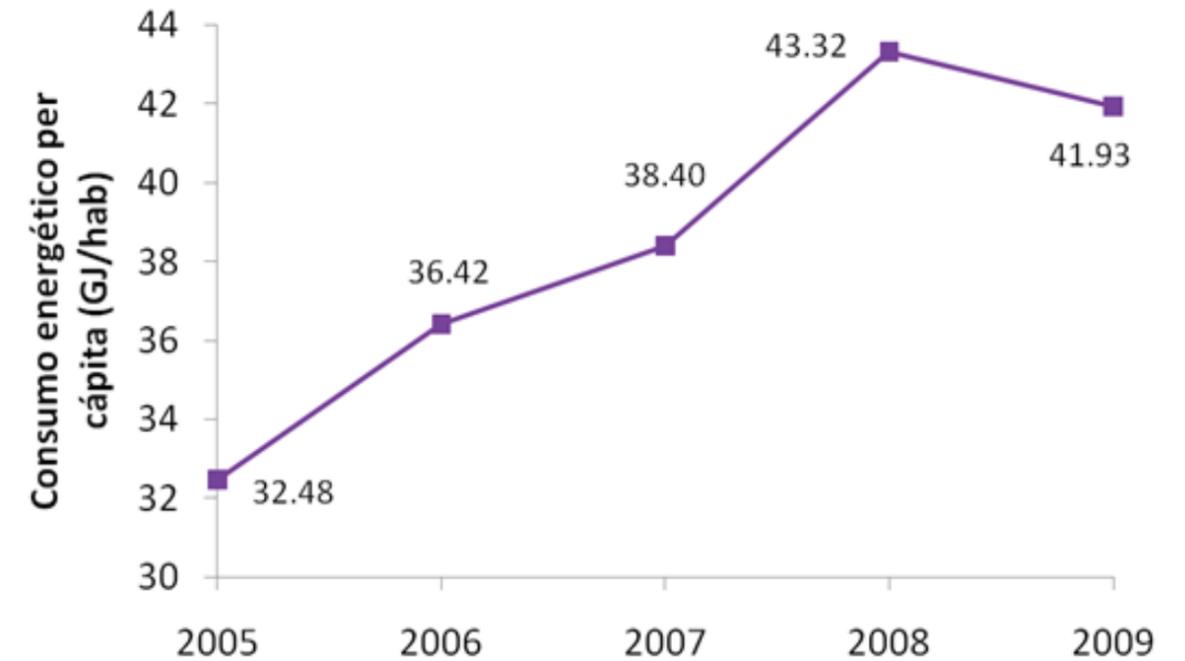


Figura 1.6. Consumo energético per cápita estatal.

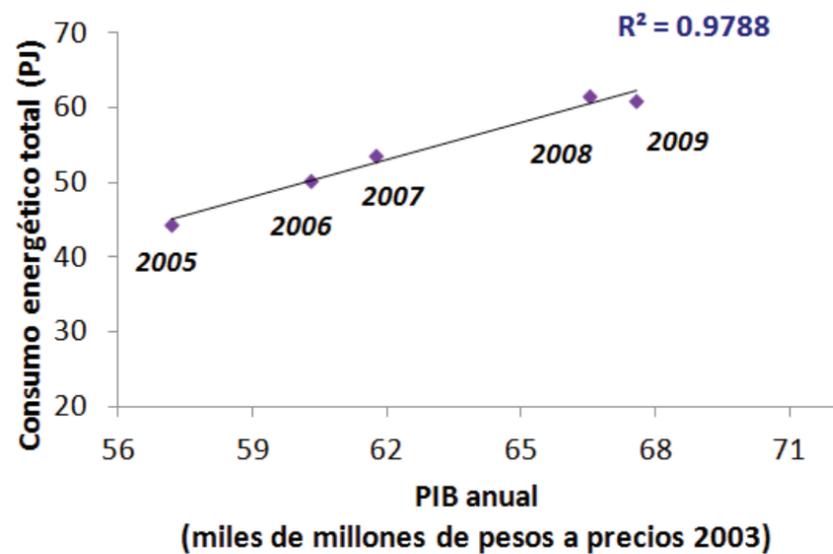
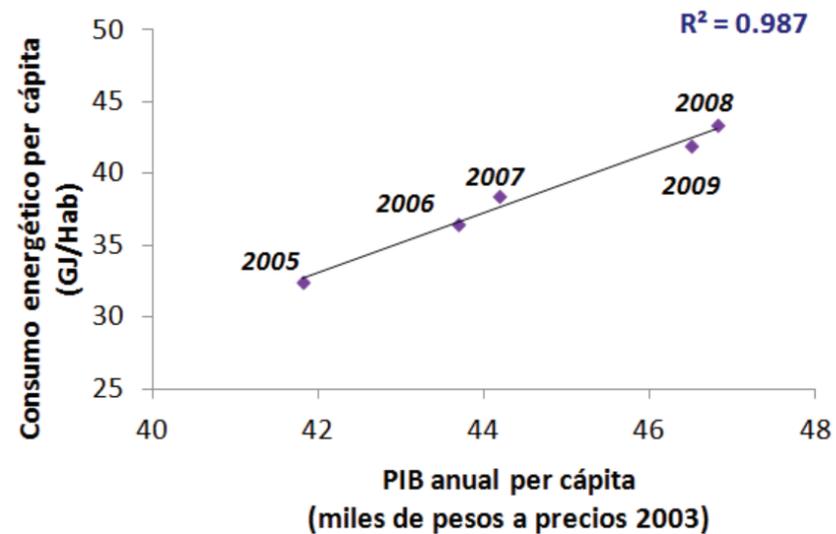


Figura 1.7. Correlación Consumo energético – PIB. Total (arriba) y per cápita (abajo).

CONCLUSIONES

El consumo estatal de energía se incrementó 38.6% en el periodo comprendido entre 2005 y 2008, de 44.42 a 61.56 PJ. En 2009 el consumo de energía respecto de 2008 disminuyó 3%, a 60.88 PJ.

En Zacatecas se produjo en promedio el 0.04% de la energía consumida anualmente durante el periodo del estudio, por lo que el Estado depende energéticamente de la energía proveniente de otras entidades federativas, como son Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas.

Cabe destacar que el Estado cuenta con una ubicación geográfica que le permite tener un potencial elevado para la generación de energía solar y eólica, que de aprovecharse daría a Zacatecas una seguridad energética, al menos en cuanto a electricidad se refiere.

El Estado de Zacatecas presentó hasta 2008 un crecimiento sostenido en el consumo de gasolinas y diesel.

El Estado de Zacatecas presenta además un consumo bajo de leña que se mantuvo constante durante el periodo de estudio.

HUELLA DE CARBONO ESTATAL 2005-2009

La Huella de Carbono Estatal cuantifica la cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) emitido a la atmósfera como resultado de las actividades humanas. El presente estudio muestra las emisiones estatales que resultan del consumo de las principales fuentes de energía (reportadas en el Balance Energético Estatal de este documento).

ESTRUCTURA

Las fuentes de energía son clasificadas en tres categorías: Combustibles fósiles, Combustibles biogénicos y Electricidad. En este estudio se cuantifican las emisiones de cada una de estas categorías, así como las emisiones totales.

Para obtener la huella de carbono, se calculan inicialmente las emisiones de los principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Estas emisiones son posteriormente convertidas a CO₂eq.

El presente estudio es elaborado para el periodo 2005 - 2009, debido a que hasta ese año se cuenta con el respaldo de cifras socioeconómicas directas, publicadas en los Censos Económicos 2009 (INEGI, año base 2008), que permiten realizar los cálculos requeridos.

Unidad de medida: Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq)

Las emisiones de gases de efecto invernadero son comúnmente expresadas en una medida estándar, el dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), de manera que sus impactos puedan ser comparados, ya que algunos gases contribuyen al calentamiento global en mayor medida que otros.

Gases de efecto invernadero (GEI)

El efecto invernadero (debido a gases como el dióxido de carbono que absorben y remiten la radiación infrarroja), ha estado presente de forma natural en nuestro planeta durante millones de años. A este efecto se debe que la temperatura media global sea del orden de 15 grados centígrados.

Sin embargo, a partir de la revolución industrial y debido a las diversas actividades humanas, el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso en la atmósfera, ha causado que se incremente de forma abrupta la temperatura global del planeta.

Debido a la importancia de su contribución al incremento del efecto invernadero, los GEI cuantificados en este estudio son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Dióxido de carbono (CO₂)

Gas incoloro e inodoro producto de la combustión completa de los combustibles fósiles. Este gas alcanzó una concentración de 385 ppm en la atmósfera en el año 2010 (NOAA). Se calcula que antes de la industrialización del siglo XIX, su concentración era de 280 ppm. Una vez en la atmósfera, el CO₂ puede durar hasta 100 años. Durante la fotosíntesis, plantas, algas y cianobacterias absorben CO₂, agua y luz solar para producir carbohidratos y oxígeno.

Metano (CH₄)

Gas incoloro e inodoro producto de la descomposición de materia orgánica. Alcanzó una concentración de 1800 partes por billón (ppb) en la atmósfera en el año 2010 (NOAA). Se calcula que hasta antes del siglo XIX, su concentración era de 700 ppb. La mayoría de las emisiones de CH₄ no llegan a la estratósfera, pues se descomponen en presencia de radiación ultravioleta. Aquellas emisiones que sí alcanzan la estratósfera, poseen una vida media de 10 años. El CH₄ es el principal componente del gas natural. Se emplea también como materia prima, en la producción industrial de metanol, ácido acético y otros compuestos.

Óxido nitroso (N₂O)

Gas incoloro de olor ligeramente dulce, producto de la quema de combustibles fósiles, de algunos procesos industriales

y de la actividad agrícola. Alcanzó una concentración de 323 ppb en la atmósfera al año 2010 (NOAA). El N2O puede permanecer en la atmósfera por 110 años. Es usado como anestésico (gas hilarante), como agente oxidante en la combustión de cohetes y motores, y como propelente de algunos alimentos en aerosol.

Factores de emisión IPCC (2006)

Los factores de emisión consisten en la cantidad promedio de cierto gas de efecto invernadero, emitida como consecuencia de la quema de un combustible determinado. Estos factores permiten convertir directamente la cantidad de combustible consumido en emisiones de GEI a la atmósfera.

Para este estudio son empleados los factores de emisión del IPCC 2006, debido a que se designan factores para sectores de consumo específicos que es posible adaptar a los sectores en que se clasifica el Balance Energético Estatal.

La Tabla 2.1 muestra los factores de emisión empleados, clasificados por fuente de energía y sector de consumo. Sólo se presentan los factores para los sectores cuyo consumo energético es significativo.

Potencial de calentamiento global (GWP)

Para convertir las emisiones de GEI distintos al dióxido de carbono a CO2eq, se emplea el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés). El IPCC recomienda el uso del GWP con un horizonte temporal a 100 años; estos valores se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.1. Factores de emisión por fuente de energía y sector de consumo, adaptados del IPCC (2006)

		kg gas / TJ											
		Coque de carbón	Coque de petróleo	Gas LP	Gasolinas y naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas seco	Carbón	Bagazo de caña	Leña	
CO ₂	RCyP	94,600	97,500	63,100	69,300	71,500	74,100	77,400	64,200	98,300	100,000	112,000	
	Transporte												
	Autotransporte	-	-	63,100	69,300	71,900	74,100	-	56,100	-	-	-	
	Aéreo	-	-	-	69,300	71,500	-	-	-	-	-	-	
	Ferroviano	-	-	-	-	74,100	-	-	-	96,100	-	-	
	Marítimo	-	-	-	69,300	71,900	74,100	77,400	57,600	-	-	-	
	Agropecuario	94,600	97,500	63,100	69,300	71,500	74,100	77,400	64,200	-	100,000	112,000	
	Industrial	94,600	97,500	63,100	69,300	71,500	74,100	77,400	64,200	98,300	100,000	112,000	
	RCyP	300	10	5	10	10	10	10	10	300	300	300	
	Transporte												
Autotransporte	-	-	62	33	-	4	-	92	-	-	-		
Aéreo	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-		
Ferroviano	-	-	-	-	-	4	-	-	2	-	-		
Marítimo	-	-	-	7	7	7	7	7	-	-	-		
Agropecuario	300	10	5	10	10	4	10	10	300	300	300		
Industrial	10	3	1	3	3	3	3	3	10	30	30		
CH ₄	RCyP	1	1	0	1	1	1	1	1	2	4	4	
	Transporte												
	Autotransporte	-	-	0	3	-	4	-	3	-	-	-	
	Aéreo	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	
	Ferroviano	-	-	-	-	-	29	-	-	2	-	-	
	Marítimo	-	-	-	2	2	2	2	2	-	-	-	
	Agropecuario	1	1	0	1	1	4	1	1	2	4	4	
	Industrial	1	1	0	1	1	1	1	1	2	4	4	
	N ₂ O	RCyP	1	1	0	1	1	1	1	1	2	4	4
		Transporte											
Autotransporte		-	-	0	3	-	4	-	3	-	-	-	
Aéreo		-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	
Ferroviano		-	-	-	-	-	29	-	-	2	-	-	
Marítimo		-	-	-	2	2	2	2	2	-	-	-	
Agropecuario		1	1	0	1	1	4	1	1	2	4	4	
Industrial		1	1	0	1	1	1	1	1	2	4	4	

Tabla 2.2. Potencial de calentamiento global (GWP) de los principales GEI, para un horizonte temporal de 100 años (IPCC, 2005)

GEI	GWP
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Consumo de combustibles en el Estado

La Tabla 2.3 muestra el consumo de los distintos combustibles, fósiles y biogénicos, así como de electricidad, clasificado por sector de consumo en el Estado de Zacatecas para el periodo de estudio.

Tabla 2.3. Consumo de combustibles fósiles y biogénicos por sector.

Sector	Consumo por sector (PJ)				
	2005	2006	2007	2008	2009
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.16	0.14	0.14	0.19	0.21
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.32	0.44	0.46	0.47	0.49
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	5.65	5.72	6.35	6.90	6.14
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.52	0.63	0.71	0.88	0.94
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	12.74	17.39	18.97	21.43	20.93
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.48	0.57	0.47	0.43	0.35
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	8.23	9.00	9.73	11.92	10.45
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.70	0.66	0.73	0.73	1.27
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	2.95	2.63	2.77	2.95	3.19
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	5.57	6.01	6.19	7.70	8.41
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	4.16	4.27	4.31	4.21	4.83
Residencial, comercial y público, Transporte y Agropecuario Industrial	1.58	1.63	1.78	2.00	2.33
	43.10	49.17	52.63	59.86	59.57

Datos tomados del Balance Energético Estatal

Con N/A se indican los combustibles que no se consumen de forma significativa en el sector.

HUELLA DE CARBONO TOTAL Y PER CÁPITA.

Los combustibles incluidos en esta cuantificación son: Carbón, Coque de carbón, Coque de petróleo, Gas licuado, Gasolinas, Querosenos, Diesel, Combustóleo y Gas seco.

Método

Consumo energético estatal

La Tabla 2.3 muestra los consumos de combustibles por sector en el Estado. El Anexo HC4 – Métodos específicos de la Huella de Carbono, detalla las fuentes de información y los cálculos empleados para la obtención de estas cifras.

Emisiones de GEI

Las emisiones de cada GEI (i) por combustible (j) y por sector (k), se calculan multiplicando el consumo de combustibles fósiles reportado en la Tabla 2.3, por el factor de emisión correspondiente de la Tabla 2.1.

$$(GEI_i)_{FÓS} = \sum_j \sum_k (Consumo_{j,k})_{FÓS} (FE_{j,k})_i$$

Emisiones totales de CO2eq

Las emisiones de CO2eq se obtienen multiplicando las emisiones de cada GEI por el GWP correspondiente indicado en la Tabla 2.2, y sumando los resultados obtenidos.

$$(CO_2eq)_{FÓS} = \sum_i (GEI_i)_{FÓS} (GWP_i)$$

Emisiones per cápita de CO2eq

Las emisiones per cápita se obtienen dividiendo las emisiones totales de CO2eq obtenidas en el paso anterior, entre la población estatal.

$$(CO_2eq \text{ per cápita})_{FÓS} = \frac{(CO_2eq)_{FÓS}}{\text{Población}}$$

Resultados y análisis

En las tablas 2.4 y 2.5 se muestra la Huella de Carbono general y per cápita por combustibles fósiles calculadas para el periodo 2005-2009 en el Estado de Zacatecas

Tabla 2.4 Emisiones debidas al consumo energético de combustibles fósiles.

Combustible	kton CO ₂ eq				
	2005	2006	2007	2008	2009
Carbón	1.33	1.67	2.01	2.35	1.92
Coque de carbón	15.44	13.46	13.02	18.52	19.85
Coque de petróleo	31.61	43.32	44.95	45.81	48.22
Gas LP	390.97	401.80	446.94	492.70	448.24
Gasolinas	904.00	1,234.49	1,346.28	1,521.55	1,485.59
Querosenos	34.59	41.14	33.63	31.29	25.15
Diesel	681.25	737.80	798.85	994.36	893.41
Combustóleo	229.17	204.39	214.82	228.78	247.35
Gas seco	359.07	387.64	399.09	496.12	542.09
TOTAL	2,647.44	3,065.71	3,299.59	3,831.50	3,711.82

Tabla 2.5 Emisiones per cápita debidas al consumo energético de combustibles fósiles

Combustible	kg CO ₂ eq/hab				
	2005	2006	2007	2008	2009
Carbón	0.97	1.21	1.44	1.65	1.32
Coque de carbón	11.29	9.75	9.32	13.03	13.67
Coque de petróleo	23.11	31.39	32.16	32.24	33.21
Gas LP	285.86	291.16	319.80	346.67	308.71
Gasolinas	660.97	894.56	963.32	1,070.58	1,023.14
Querosenos	25.29	29.81	24.06	22.01	17.32
Diesel	498.10	534.64	571.61	699.64	615.30
Combustóleo	167.56	148.11	153.71	160.97	170.35
Gas seco	262.54	280.90	285.56	349.08	373.34
TOTAL	1,935.70	2,221.54	2,360.99	2,695.87	2,556.37

En las Tablas 2.6 y 2.7 se listan las emisiones de CO2eq per cápita por sector debidas al consumo de combustibles fósiles durante el periodo 2005-2009.

Tabla 2.6 Emisiones debidas al consumo energético de combustibles fósiles por sector de consumo.

sector	kton CO ₂ eq				
	2005	2006	2007	2008	2009
RCP	301.05	323.53	356.01	391.25	348.27
Transporte	1,494.81	1,866.68	2,021.14	2,357.32	2,172.07
Agropecuario	129.86	135.95	149.94	151.03	178.39
Industrial	721.72	739.54	772.50	931.89	1,013.09
TOTAL	2,647.44	3,065.71	3,299.59	3,831.50	3,711.82

Tabla 2.7 Emisiones per cápita debidas al consumo energético de combustibles fósiles por sector de consumo.

sector	kg CO ₂ eq/hab				
	2005	2006	2007	2008	2009
RCP	220.12	234.44	254.74	275.29	239.86
Transporte	1,092.94	1,352.67	1,446.21	1,658.63	1,495.93
Agropecuario	94.95	98.52	107.29	106.27	122.86
Industrial	527.69	535.90	552.75	494.71	697.72
TOTAL	1,935.70	2,221.54	2,360.99	2,534.90	2,556.37

El sector responsable de las emisiones más elevadas es el transporte, con 2172.07kton de CO₂eq para 2009. La mayor parte se origina por el consumo de gasolina y diesel, que representan más del 50% de las emisiones totales.

El segundo sector con mayores emisiones a lo largo del estudio es el sector industrial, con 1,013.09 kton de CO₂eq en 2009. Éstas se deben principalmente al consumo de gas seco en la industria minera.

Las emisiones per cápita también presentan sus valores más elevados en los consumos de gasolina, alcanzando 1,495.93 kg CO₂eq/hab en 2009 y que es destinado en su totalidad al sector transporte

COMBUSTIBLES BIOGÉNICOS

HUELLA DE CARBONO TOTAL Y PER CÁPITA

Los combustibles de origen biológico cuyas emisiones se cuantifican, son el Bagazo de caña y la Leña. Para el Estado de Zacatecas solamente se cuantifica la Huella de Carbono de leña ya que no existe consumo de bagazo de caña.

El método de cálculo que permite obtener la huella total y la huella per cápita es el mismo que para el caso de combustibles fósiles.

Método

Consumo energético estatal

Los datos de consumo energético de Leña (Tabla 2.3) fueron obtenidos de Delegación Federal de SEMARNAT en Zacatecas.

Emisiones de GEI

Las emisiones de cada GEI (i) por combustible (j) y por sector (k) se calculan multiplicando el consumo de leña, reportado en la Tabla 2.3, por el factor de emisión correspondiente de la Tabla 2.1.

$$(GEI_i)_{BIO} = \sum_j \sum_k (\text{Consumo}_{j,k})_{BIO} (FE_{j,k})_i$$

Emisiones totales de CO₂eq

Las emisiones de CO₂eq se obtienen multiplicando las emisiones de cada GEI por el GWP correspondiente a leña (Tabla 2.2).

$$(CO_2eq)_{BIO} = \sum_i (GEI_i)_{BIO} (GWP_i)$$

Emisiones per cápita de CO₂eq

Las emisiones per cápita se obtienen dividiendo las emisiones totales de CO₂eq obtenidas en el paso anterior, entre la población del Estado.

$$(CO_2eq \text{ per cápita})_{BIO} = \frac{(CO_2eq)_{BIO}}{\text{Población}}$$

Resultados y análisis

En la Tabla 2.8 se listan la huella de carbono total y per cápita debida al consumo de combustibles biogénicos durante el periodo 2005-2009.

Tabla 2.8 Emisiones de totales y per cápita debidas al consumo energético de combustibles biogénicos

	2005	2006	2007	2008	2009
kton CO ₂ eq	1,568.23	5,611.09	1,690.96	1,846.19	1,539.14
kg CO ₂ eq/h	1.15	4.07	1.21	1.30	1.06

La Huella de Carbono resultado del consumo de combustibles biogénicos, es producida en su totalidad por la quema de leña en el sector residencial. La mayor cantidad de emisiones per cápita se presentó en el año 2006 con 4.11 kg de CO₂eq/hab y ha ido disminuyendo hasta llegar a 1.7 kg de CO₂eq/hab en 2009.

Las emisiones por consumo de bagazo de caña no se reportan ya que no existe producción ni consumo de este combustible en el Estado.

ELECTRICIDAD

HUELLA DE CARBONO TOTAL Y PER CÁPITA

La huella eléctrica consiste en la cuantificación de las emisiones de CO₂eq debidas a los combustibles empleados para la generación de electricidad. El Estado de Zacatecas es abastecido de energía eléctrica por las Regiones eléctricas de Durango, Guadalajara, Salamanca, Saltillo y San Luis Potosí en las que se genera electricidad en cuatro centrales Hidroeléctricas, tres térmicas convencionales, cuatro de ciclo combinado y una de carbón; en estas tres últimas se consumen combustibles fósiles para la generación eléctrica por lo que se genera una huella de carbono debido al consumo de electricidad en el Estado, a continuación se reporta la estimación de dicha huella de carbono.

Método

Electricidad proveniente de otros estados

Durante el periodo de estudio, la electricidad consumida en Zacatecas fue generada en los estados de Durango, Jalisco, Guanajuato, Coahuila y San Luis Potosí (Balance Energético Estatal).

Regiones eléctricas

Para su caracterización, el país se divide en 50 regiones eléctricas interconectadas entre sí. La Tabla 2.9 lista las regiones eléctricas conectadas al Estado de Aguascalientes y su capacidad de transmisión total y porcentual para el año 2009. La región de Aguascalientes, ubicada en este estado provee de electricidad a los estados de Zacatecas, Aguascalientes y la ciudad de León, Guanajuato. Los datos fueron obtenidos de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025, publicada por SENER.

Tabla 2.9. Capacidad de transmisión eléctrica de las regiones conectadas a Aguascalientes y su estructura porcentual durante 2009.

Región eléctrica	Capacidad de transmisión (MVA)	Estructura porcentual
10 Durango	200	4.17 %
22 Guadalajara	950	19.79 %
25 Salamanca	1600	33.33 %
17 Saltillo	1150	23.96 %
24 San Luis Potosí	900	18.75%
TOTAL	2780	100.00%

Datos de la Prospectiva del Sector Eléctrico en México 2010-2025, SENER.

Generación a partir de combustibles fósiles por región eléctrica

Se cuantifican el total de generación eléctrica a partir de combustibles fósiles (electricidad con huella de carbono), así como el porcentaje que representa esta generación en cada región eléctrica conectada a la Región de Aguascalientes que es la que provee la electricidad al Estado de Zacatecas (Tabla 2.10).

Tabla 2.10. Generación bruta a partir de combustibles fósiles por región eléctrica en 2009.

Región eléctrica	Generación bruta (GW-h)	Generación a partir de combustibles fósiles (GW-h)	Porcentaje de generación por combustibles fósiles
10 Durango	6,042	6,042	100.00 %
22 Guadalajara	562	0	0.00 %
25 Salamanca	5,831	5,831	100.00%
17 Saltillo	19,720	19,552	99.15 %
24 San Luis Potosí	37,730	37,730	100.00 %
TOTAL	69,885	69,155	

Datos de la Prospectiva del Sector Eléctrico en México 2010-2025, SENER.

Los porcentajes transmisión y de generación reportados en las Tablas 2.9 y 2.10 se multiplican para obtener la fracción de energía eléctrica que ingresa al Estado de Zacatecas, generada a partir de combustibles fósiles (Tabla 2.11).

Emisiones totales de CO₂eq estatal

La huella de carbono estatal debida al consumo de electricidad se obtiene multiplicando la electricidad consumida en Zacatecas, por el porcentaje total de electricidad generada por combustibles fósiles en las Regiones eléctricas adyacentes a la entidad, 80.00%(Tabla 2.11), y por el factor de emisión promedio reportado en el Programa GEI México para cada año (Tabla 2.12)

Tabla 2.11. Porcentaje de electricidad transmitida a Zacatecas, generada a partir de combustibles fósiles durante 2009.

Región eléctrica	Porcentaje de transmisión eléctrica a Michoacán generada por combustibles fósiles
10 Durango	4.17 %
22 Guadalajara	0.00 %
25 Salamanca	33.33 %
17 Saltillo	23.75 %
24 San Luis Potosí	18.75 %
TOTAL	80.00 %

Tabla 2.12. Factor de emisión de electricidad promedio.

Año	Factor de emisión [ton CO ₂ eq/MWh]
2005	0.5557
2006	0.5283
2007	0.5208
2008	0.4698
2009	0.5057

Emisiones per cápita de CO₂eq estatal

La huella de carbono per cápita se obtiene dividiendo las emisiones totales de CO₂eq calculadas en el paso anterior, entre la población estatal.

$$(\text{CO}_2\text{eq per cápita})_{\text{ELEC}} = \frac{(\text{CO}_2\text{eq})_{\text{ELEC}}}{\text{Población}}$$

En las Tablas 2.13 y 2.14 se listan las emisiones totales y per cápita de CO₂eq, debidas al consumo de electricidad en cada sector.

Tabla 2.13. Emisiones de CO₂eq debidas al consumo de electricidad por sector.

Kton CO ₂ eq					
	2005	2006	2007	2008	2009
RCP	300.65	298.47	308.62	279.90	331.32
Transporte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agropecuario	213.61	203.10	190.69	159.92	211.56
Industrial	195.29	191.23	206.04	209.26	262.10
TOTAL	709.55	692.81	705.35	649.09	804.98

Tabla 2.14. Emisiones de CO₂eq per cápita debidas al consumo de electricidad por sector.

Kg CO ₂ eq/hab					
	2005	2006	2007	2008	2009
RCP	219.82	216.29	220.83	196.94	228.18
Transporte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agropecuario	156.18	147.17	136.45	112.52	145.70
Industrial	142.79	138.58	147.43	147.24	180.51
TOTAL	518.79	502.04	504.71	456.70	554.40

Las emisiones más elevadas se dieron en el sector Residencial, Comercial y Público con 331.32 kton de CO₂eq en 2009. A estas emisiones corresponde un valor per cápita de 262.10kgCO₂eq/hab para el mismo año.

El segundo sector con mayores emisiones por consumo de electricidad fue Agropecuario durante 2005 y 2006, siendo reemplazado por el sector industrial a partir de 2007 y presentando un total de emisiones de 262.10kton de CO₂eq para el año 2009. Estas emisiones son originadas principalmente por el consumo en la rama de minería.

HUELLA DE CARBONO GENERAL

TOTAL Y PER CÁPITA

La huella de carbono general consiste en las emisiones de CO₂eq generadas por todas las fuentes de energía que se consumen en el Estado.

Método

Las emisiones totales de CO₂eq por región socioeconómica debidas al consumo energético general, se obtienen sumando las emisiones individuales de cada una de las tres categorías anteriores: Combustibles fósiles, Combustibles biogénicos y Electricidad.

$$(\text{CO}_2\text{eq})_{\text{GRAL}} = (\text{CO}_2\text{eq})_{\text{FÓS}} + (\text{CO}_2\text{eq})_{\text{BIO}} + (\text{CO}_2\text{eq})_{\text{ELEC}}$$

Las emisiones per cápita de CO₂eq por región socioeconómica, debidas al consumo energético general, se obtienen dividiendo las emisiones generales entre la población de la región correspondiente.

$$(\text{CO}_2\text{eq per cápita})_{\text{GRAL}} = \frac{(\text{CO}_2\text{eq})_{\text{GRAL}}}{\text{Población}}$$

En las Tablas 2.15 y 2.16 se listan las emisiones totales y per cápita de CO₂eq por combustible, debidas al consumo de todas las fuentes de energía cuantificadas. En las tablas 2.17 y 2.18 se observan la huella de carbono total y per cápita clasificada por sector de consumo.

Tabla 2.15. Emisiones de CO₂eq total, clasificadas por combustible.

kton CO ₂ eq					
Combustible	2005	2006	2007	2008	2009
Carbón	1.33	1.67	2.01	2.35	1.92
Leña	1.57	5.61	1.69	1.85	1.54
Coque de carbón	15.44	13.46	13.02	18.52	19.85
Coque de petróleo	31.61	43.32	44.95	45.81	48.22
Gas LP	390.97	401.80	446.94	492.70	448.24
Gasolinas	904.00	1,234.49	1,346.28	1,521.55	1,485.59
Querosenos	34.59	41.14	33.63	31.29	25.15
Diesel	681.25	737.80	798.85	994.36	893.41
Combustóleo	229.17	204.39	214.82	228.78	247.35
Gas seco	359.07	387.64	399.09	496.12	542.09
Electricidad	709.55	692.81	705.35	649.09	804.98
TOTAL	3,358.55	3,764.13	4,006.64	4,482.43	4,518.34

Tabla 2.16. Emisiones de CO₂eq per cápita, clasificadas por combustible.

kg CO ₂ eq/hab					
Combustible	2005	2006	2007	2008	2009
Carbón	0.97	1.21	1.44	1.65	1.32
Leña	1.15	4.07	1.21	1.30	1.06
Coque de carbón	11.29	9.75	9.32	13.03	13.67
Coque de petróleo	23.11	31.39	32.16	32.24	33.21
Gas LP	285.86	291.16	319.80	346.67	308.71
Gasolinas	660.97	894.56	963.32	1,070.58	1,023.14
Querosenos	25.29	29.81	24.06	22.01	17.32
Diesel	498.10	534.64	571.61	699.64	615.30
Combustóleo	167.56	148.11	153.71	160.97	170.35
Gas seco	262.54	280.90	285.56	349.08	373.34
Electricidad	518.79	502.04	504.71	456.70	554.40
TOTAL	2,455.64	2,727.64	2,866.90	3,153.87	3,111.83

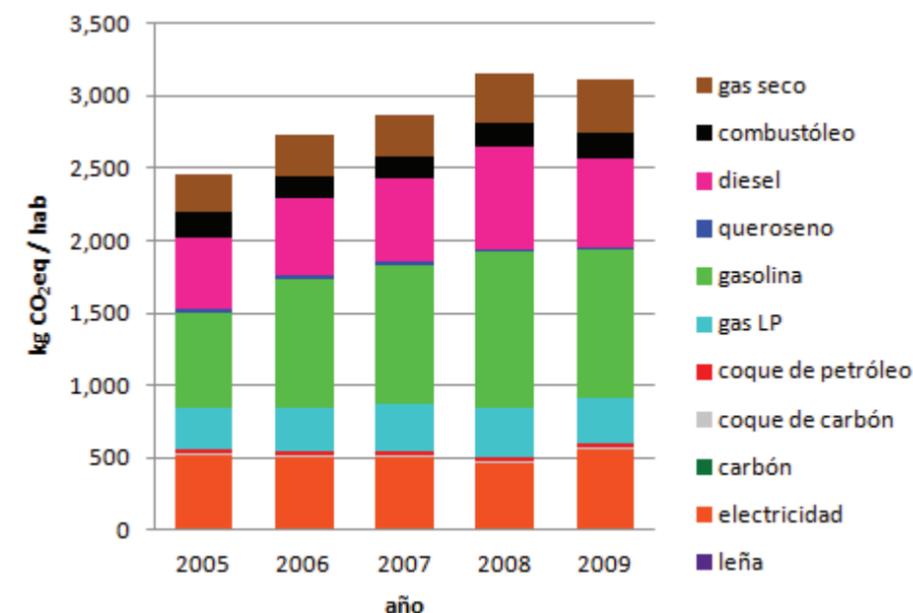
Tabla 2.17. Emisiones de CO₂eq total, clasificadas por sector de consumo.

Sector	kton CO ₂ eq				
	2005	2006	2007	2008	2009
RCP	603.27	627.61	666.32	673.00	681.13
Transporte	1,494.81	1,866.68	2,021.14	2,357.32	2,172.07
Agropecuario	343.47	339.05	340.63	310.95	389.95
Industrial	917.01	930.78	978.54	1,141.16	1,275.19
	3,358.55	3,764.13	4,006.64	4,482.43	4,518.34

Tabla 2.18. Emisiones de CO₂eq per cápita, clasificadas por sector de consumo.

Sector	kg CO ₂ eq / hab				
	2005	2006	2007	2008	2009
RCP	441.09	454.79	476.78	473.53	469.10
Transporte	1,092.94	1,352.67	1,446.21	1,658.63	1,495.93
Agropecuario	251.13	245.69	243.73	218.79	268.56
Industrial	670.48	674.48	700.18	802.93	878.23
	2,455.64	2,727.64	2,866.90	3,153.87	3,111.83

Figura 2.2. Huella de carbono per cápita clasificada por año de emisión y fuente de energía.



CONCLUSIONES

El Estado de Zacatecas emitió 3.11 ton CO₂eq/hab en 2009, originadas por el consumo de energía, 78% del valor promedio nacional reportado en el Balance Nacional de Energía 2009 (SENER), que es de 4 ton CO₂eq/hab.

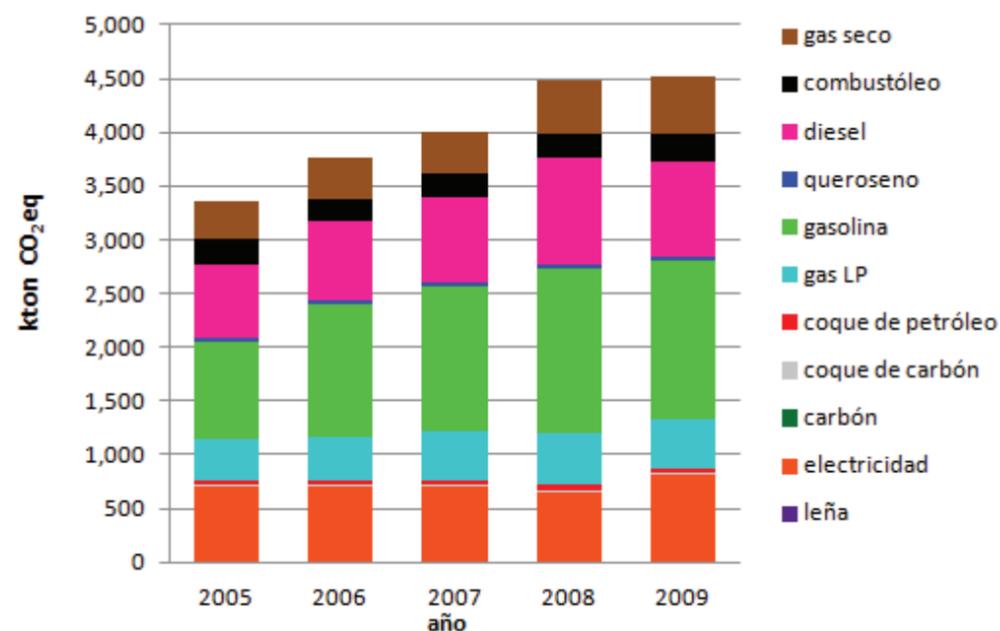
De 2005 a 2009 las emisiones de CO₂eq presentaron un aumento continuo, pasando de 3,358.55 kton de Co₂eq en 2005 a 4,518.34 kton de CO₂eq en 2009.

Durante el periodo de estudio el 48% de las emisiones promedio, se debieron al consumo de gasolina y diesel principalmente en el sector transporte.

El sector industrial fue responsable del 28% de la huella de carbono estatal al emitir en promedio 878.23 kton de CO₂eq durante 2009. La minería es la rama con mayores emisiones debido al consumo de gas seco y electricidad para su funcionamiento.

Las cifras correspondientes a la huella de carbono total y per cápita, se presentan gráficamente en las Figuras 2.1 y 2.2

Figura 2.1. Huella de carbono clasificada por año de emisión y fuente de energía.



CONCLUSIONES GENERALES

Balance Energético Estatal

El consumo energético en el Estado de Zacatecas aumentó 37.1% en el periodo comprendido entre 2005 y 2009, presentando un consumo máximo de 61.56 PJ en 2008. Este valor máximo representó 1.28% del consumo energético nacional efectuado el mismo año (4,795.2 PJ)¹.

Durante dicho periodo, Zacatecas dependió energéticamente en un 99.96% de la energía proveniente de otros estados de la República.

A excepción del consumo de electricidad y gas seco, la información referente a los consumos en el sector industrial fue obtenida casi en su totalidad por medio de cálculos basados en factores económicos. Se sugiere iniciar acuerdos con este sector a través de la Secretaría de Energía (SENER), para permitir el acceso a la información estatal recopilada en la encuesta sobre consumo de energía en el sector industrial, elaborada anualmente por la dependencia citada. Estos datos permitirán elevar la precisión de las actualizaciones del presente estudio.

Huella de carbono estatal 2005-2009

En el Estado de Zacatecas fueron emitidas 3.12 ton CO₂eq/hab por concepto del consumo energético durante 2008, 78% del valor per cápita nacional (4 ton CO₂eq/hab).

La mayor parte de estas emisiones fueron originadas por el consumo de combustibles fósiles en el sector transporte, seguidas por el sector industrial, específicamente la rama de minería.

Se sugiere iniciar acuerdos con el sector privado para facilitar el acceso a la estadística municipal recopilada en la encuesta sobre consumo de energía en el sector industrial y ferroviario, elaborada anualmente por la Secretaría de Energía (SENER).

Contar con información específica sobre el tipo de combustible y la clase de equipos en los que dicho combustible es empleado dentro del sector industrial permitirá utilizar el método AP42, el cual incluye factores de emisión nacionales, brindando así mayor precisión al estudio.

¹ Balance Nacional de Energía 2009, SENER.

GLOSARIO

Bagazo de caña: Residuos de la caña de azúcar después de ser exprimida.

Biogénico: Producido por la acción de un organismo vivo.

Biomasa: Conjunto de materia viva vegetal o animal, destinada a la creación de energía.

Carbón mineral: Roca de color negro, muy rica en carbono, utilizada como combustible fósil.

Cianobacterias: Organismo unicelular perteneciente al reino móneras que realiza la fotosíntesis.

Combustóleo: Combustible residual que se obtienen de los procesos de refinación del petróleo.

Condensados: Mezcla de hidrocarburos relativamente ligeros que permanecen líquidos a temperatura y presión normales.

Coque de carbón: Combustible obtenido de la destilación del carbón mineral a temperaturas muy altas en hornos cerrados y a los cuales se añade calcita.

Coque de petróleo: Residuo que se obtiene de la refinación del petróleo y que permite su aprovechamiento como combustible.

Diesel: Combustible pesado, producto de la destilación del petróleo, empleado en motores de combustión interna que carecen de carburador.

Dióxido de carbono (CO₂): Gas incoloro e inodoro producto de la combustión completa de los combustibles fósiles.

Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq): Unidad estandarizada que se emplea para medir las emisiones de gases efecto invernadero.

Electricidad: Forma de energía originada por la presencia o flujo de electrones.

Energía eólica: Energía aprovechada mediante generadores eléctricos, cuya fuerza motriz es proporcionada por efecto de las corrientes de aire.

Energía nuclear: Energía contenida en el mineral de uranio, material cuya fisión se efectúa dentro de reactores, y es aprovechada para fines tales como la obtención de electricidad.

Energía primaria: Toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada.

Energía secundaria: Energía transformada a partir de fuentes primarias, y que posee características específicas para su consumo final.

Energías no convencionales: Fuentes de energía poco comunes y cuyo uso es limitado debido a la dificultad para captarlas y transformarlas en energía eléctrica. Incluye la energía eólica, solar, geotérmica y de los océanos.

Energías renovables: Fuentes de energía que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana: solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica y oceánica.

Gas licuado: Mezcla de gases condensables presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo.

Gas natural: Gas combustible que proviene de formaciones geológicas, por lo que constituye una fuente de energía no renovable.

Gas seco: Subproducto del gas natural al que se ha extraído productos licuables.

Gasolinas y naftas: Mezcla de hidrocarburos procedentes de la destilación fraccionada del petróleo y que se emplea como combustible en la mayor parte de los vehículos automotrices.

Geoenergía: También llamada energía geotérmica, es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie

de la corteza terrestre.

Geotermoeléctrica: Tecnología utilizada para generar energía eléctrica aprovechando el calor contenido en el agua que se ha concentrado en el subsuelo.

Hidroenergía: Energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior, provocando el movimiento de turbinas.

Huella de carbono: Medida del impacto que las actividades humanas tienen en el medio ambiente en términos de la cantidad de gases de efecto invernadero producidas.

Joule: Unidad de trabajo y energía del sistema internacional de unidades.

Leña: Conjunto de troncos, ramas y trozos de madera seca que se emplea como combustible.

Metano (CH₄): Gas incoloro e inodoro producto de la descomposición de materia orgánica. Es el principal componente del gas natural.

Minihidráulica: Centrales hidroeléctricas con potencia inferior a 10 MW, de acuerdo con la legislación mexicana vigente.

Óxido nitroso (N₂O): Gas incoloro de olor ligeramente dulce, producto de la quema de combustibles fósiles, de algunos procesos industriales y de la actividad agrícola.

Petróleo crudo: Mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas de compuestos denominados hidrocarburos, ocurriendo en forma natural en depósitos de roca sedimentaria.

Potencial de calentamiento global: Define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce la liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂.

Querosenos: Mezcla líquida de hidrocarburos obtenida de la destilación del petróleo, utilizada como combustible para iluminación y motores a turbina.

Fisión nuclear: Reacción en la cual un núcleo de un átomo se divide en partes más pequeñas, liberando una gran cantidad de energía en el proceso.

REFERENCIAS

Balance Energético Estatal

IFAI. Solicitudes de información a través del sitio web del sistema Infomex. Disponible en:

<http://www.ifai.org.mx/>

INEGI. Censos Económicos 2009. Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/saic/default.asp?s=est&c=17166>

INEGI. El Sector Energético en México 2009.

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/default.aspx>

Perry R. H. & Green D. W. (1997) Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition.

ASERCA, Consumos Anuales Diesel Agropecuario. Disponible en:

<http://www.aserca.gob.mx/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Puebla. Síntesis de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático. Puebla 2010.

SENER. Balance Nacional de Energía, Ediciones 2005- 2009.

SENER, Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2010-2025.

Servicio Geológico Mexicano, Anuario Estadístico de Minería Mexicana Ampliada 2009.

Unión Nacional de Cañeros, Estadísticas. Disponible en <http://www.caneros.org.mx/>

Huella de carbono estatal 2005- 2009

INEGI, Censo de población y vivienda 2010, Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est>

INEGI, Anuario estadístico 2009. Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=aee&edi=2009&ent=32>

IPCC, Directrices de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen II, energía. Capítulo 2, Combustión estacionaria.

SENER, Balance Nacional de Energía 2009.

SENER, Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025.

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Matriz 1.1.	Balance energético estatal 2005. Energía primaria	20
Matriz 1.2.	Balance energético estatal 2005. Energía secundaria	21
Matriz 1.3.	Balance energético estatal 2006. Energía primaria	22
Matriz 1.4.	Balance energético estatal 2006. Energía secundaria	23
Matriz 1.5.	Balance energético estatal 2007. Energía primaria	24
Matriz 1.6.	Balance energético estatal 2007. Energía secundaria	25
Matriz 1.7.	Balance energético estatal 2008. Energía primaria	26
Matriz 1.8.	Balance energético estatal 2008. Energía secundaria	27
Matriz 1.9.	Balance energético estatal 2009. Energía primaria	28
Matriz 1.10	Balance energético estatal 2009. Energía secundaria	29
Tabla 1.1	Producción estatal de energía, entradas y total de energía disponible	35
Tabla 1.2	Consumo final de energía	36
Tabla 1.3	Consumo energético en el sector industrial	41
Tabla 2.1	Factores de emisión por fuente de energía y sector de consumo	48
Tabla 2.2	Potencial de calentamiento global de los principales GEI	48
Tabla 2.3	Consumo de combustibles fósiles y biogénicos por sector	49
Tabla 2.4	Emisiones debidas al consumo energético de combustibles fósiles	51
Tabla 2.5	Emisiones per cápita debidas al consumo energético de combustibles fósiles	51
Tabla 2.6	Emisiones debidas al consumo energético de combustibles fósiles por sector de consumo	52
Tabla 2.7	Emisiones per cápita debidas al consumo energético de combustibles fósiles por sector de consumo	52
Tabla 2.8	Emisiones de totales y per cápita debidas al consumo energético de combustibles biogénicos	54
Tabla 2.9	Capacidad de transmisión eléctrica de las regiones conectadas a Aguascalientes y su estructura porcentual durante 2009.	55
Tabla 2.10	Generación bruta a partir de combustibles fósiles por región eléctrica en 2009	55
Tabla 2.11	Porcentaje de electricidad transmitida a Zacatecas, generada a partir de combustibles fósiles durante 2009.	56
Tabla 2.12	Factor de emisión de electricidad promedio [ton CO ₂ eq/MWh].	
Tabla 2.13	Emisiones de CO ₂ eq debidas al consumo de electricidad por sector.	56
Tabla 2.14	Emisiones de CO ₂ eq per cápita debidas al consumo de electricidad por sector.	56
Tabla 2.15	Emisiones de CO ₂ eq total, clasificadas por combustible.	58
Tabla 2.16	Emisiones de CO ₂ eq per cápita, clasificadas por combustible.	58
Tabla 2.17	Emisiones de CO ₂ eq total, clasificadas por sector de consumo.	59
Tabla 2.18.	Emisiones de CO ₂ eq per cápita, clasificadas por sector de consumo.	59

Índice de figuras

Diagrama 1.1	Balance energético estatal 2005	30
Diagrama 1.2	Balance energético estatal 2006	31
Diagrama 1.3	Balance energético estatal 2007	32
Diagrama 1.4	Balance energético estatal 2008	33
Diagrama 1.5	Balance energético estatal 2009	34
Figura 1.1	Porcentaje de la energía disponible cubierto con producción estatal.	35
Figura 1.2	Estructura porcentual del consumo energético final anual	37
Figura 1.3	Variación porcentual del consumo final anual de energía	38
Figura 1.4	Evolución anual del consumo final de energía	39
Figura 1.5	Evolución anual del consumo energético por rama industrial	42
Figura 1.6	Consumo energético per cápita estatal	44
Figura 1.7	Correlación Consumo energético – PIB. Total y per cápita	44
Figura 2.1	Huella de carbono clasificada por año de emisión y fuente de energía.	59
Figura 2.2	Huella de carbono per cápita clasificada por año de emisión y fuente de energía.	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Balance energético estatal (documentos y hojas de cálculo)	
Anexo B1 – Poder calorífico neto	
Anexo B2 – PIB estatal	
Anexo B3 – Leña	
Anexo B4 – Aeropuertos	
Anexo B5 – Combustibles PR	
Anexo B6 – Combustibles PGPB	
Anexo B7 – Diesel agropecuario	
Anexo B8 – Electricidad	
Anexo B9 – Industrial	
Anexo B10 – Balance Energético Estatal 2005-2009 (Sistema de Actualización)	
Anexo B11 – Método del Balance Energético Estatal	
Huella de carbono (documentos y hojas de cálculo)	
Anexo HC1 – Factores de emisión	
Anexo HC2 – Huella de carbono estatal	
Anexo HC3 – Huella de carbono eléctrica	
Anexo HC4 – Métodos específicos de la Huella de Carbono	



Director de la FCFM
Dr. Cupatitzio Ramírez Romero

Coordinador General del Estudio

Dr. Apolonio Juárez Núñez

Laboratorio de
Ciencias Aplicadas, FCFM-BUAP

Responsable

M.I. Emma Juárez Núñez
Facultad de Ingeniería Química

BUAP

Coordinador

I.Q. Daniel Reyes Lastiri

BUAP

Colaboradores

Ángeles Jiménez Infante

Erika Molinos Hernández

Facultad de Ingeniería Química

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Elaborado en la Universidad Autónoma de Zacatecas



Rector: Francisco Javier Domínguez Garay,
Coordinador Administrativo: Dr. Eduardo Manzanares Acuña,
Coordinador Técnico: Dr. José Luis Pinedo Vega,
Coordinación de la Elaboración del Reporte IGEI: Fis. Nicolás Torres Brauer.

Introducción

El cambio climático debido a la alta concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, es un fenómeno cíclico que existe en nuestro planeta desde tiempos prehistóricos, sin embargo, su ciclo se ha deteriorado gravemente y se ha acelerado a partir de la revolución industrial, misma que aumento el numero de emisiones de GEI's debido a las actividades humanas. Los cambios en el clima ocurren como resultado de la variabilidad interna del sistema climático y de factores externos (tanto naturales como antropogénicos).

Como puede verse en la Figura 1, la concentración de los gases mencionados, han aumentado exponencialmente desde el inicio del siglo pasado. Esto prueba que la acción del hombre ha influido fuertemente en la aceleración del calentamiento global.

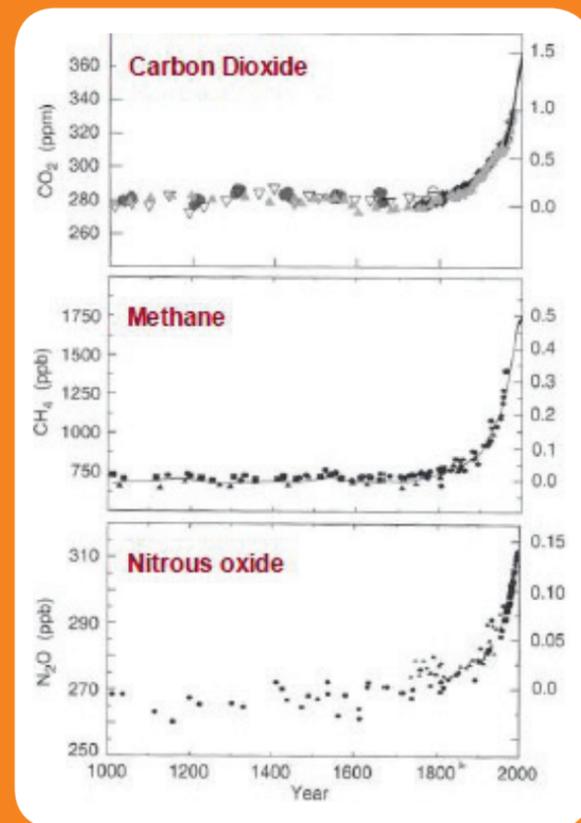


Figura 1. Concentración de GEI's en la atmosfera por año desde el año 1000 al 2000 [1]

Diversas actividades, como el transporte, la industria y la agricultura emiten grandes cantidades de dióxido de carbono, metano u óxido nitroso, mismos que molécula por molécula han trastornado el equilibrio climático de la tierra, otras actividades como la deforestación eliminan sumideros de carbono que abatirían al menos parcialmente el problema consumiendo parte del CO₂ emitido a la atmósfera. Todo lo anterior, conlleva a cambios en los ecosistemas y una consiguiente pérdida de la biodiversidad en muchas regiones, no solamente en las industrialmente activas, sino en todas a lo largo y ancho del planeta, ya que cada acción local tiene repercusiones globales.

Es ampliamente aceptado que la causa de dicho fenómeno se encuentra en la alta concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. El panel intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), el cual ha trabajado intensamente para fomentar, entre otras acciones, la creación de inventarios de emisiones que permiten evaluar la situación actual, estimar sus impactos a futuro y establecer alternativas para su mitigación, a fin de lograr estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero generadas a niveles que puedan ser capturados por la biosfera, ha indicado que el riesgo de dicho cambio es severo y su impacto aumentará notablemente con un incremento de las temperaturas entre 1.4 y 5.8 grados en el periodo de 1990-2100.

El cambio climático debe ser tomado como prioridad, debido a que no solo constituye un problema ambiental, sino que también se trata de un problema de desarrollo con profundos impactos en la sociedad, la economía y los ecosistemas.

El clima es el principal factor que controla las pautas mundiales de la flora y la fauna, su estructura, su productividad y la mezcla de especies, siendo esto, el principio en el que se basan diversos servicios que satisfacen las necesidades humanas. Entre estos servicios se incluyen los alimentos, las fibras, las medicinas, la polinización, la dispersión de semillas, la formación y mantenimiento de los suelos así como la biodiversidad y los procesos biogeoquímicos que subyacen bajo el funcionamiento de los sistemas terrestres.

El clima es también uno de los factores principales en la economía mundial ya que esta se basa en la producción industrial a partir de materiales primarios que provienen del campo en su gran mayoría y este, a su vez, depende de un buen clima para sostener su producción, misma que además de proveer a la industria internacional, provee de alimentos a la población mundial.

En el caso de países en vías de desarrollo como lo es México, un parámetro de desarrollo sostenible exige a los sectores productivos procesos de cuantificación y de disminución de los efectos climáticos con el fin de mantener una posición competitiva. En este sentido, los impactos ambientales y socioeconómicos de las actividades para la mitigación y adaptación al cambio climático se pueden evaluar mediante estudios de impacto a nivel estratégico y de proyectos (niveles sectorial y regional) sobre el medio ambiente y las sociedades. Las mejores evaluaciones de los impactos ambientales y sociales, que incorporan los procesos participativos, proporcionan opciones para mostrar a las personas encargadas de la toma de decisiones los riesgos e impactos de un cambio de proyecto o de una política sobre el medio ambiente y sobre la sociedad en general, además de analizar las medidas opcionales y las dirigidas a la mitigación.

En el Estado de Zacatecas, debido a todo lo anterior, es imprescindible realizar un inventario de gases de efecto invernadero, mismo que a la par del balance energético del estado, nos permitirá evaluar la situación del mismo, con el fin de llevar a cabo la identificación de las fuentes principales de contaminantes. Cuestión vital para la posterior toma de decisiones de las autoridades competentes con referencia a la mitigación la emisión de gases de efecto invernadero con el fin de contribuir a la disminución de la velocidad cambio climático.

Antecedentes

Aspectos físicos

El estado de Zacatecas se localiza en la parte centro-norte de la República Mexicana al noreste de la capital. Colinda al norte con Coahuila, al noreste con Nuevo León en un vértice que es común a cuatro entidades, al este con San Luis Potosí al sur con Aguascalientes y Jalisco, al sureste con Nayarit como se ilustra en la Figura 2. Sus coordenadas son: del paralelo 25° 09' - 21° 01' de latitud norte y del meridiano 100° 48' - 104° 20' de longitud oeste, a una altura media sobre el nivel del mar 2230 metros.

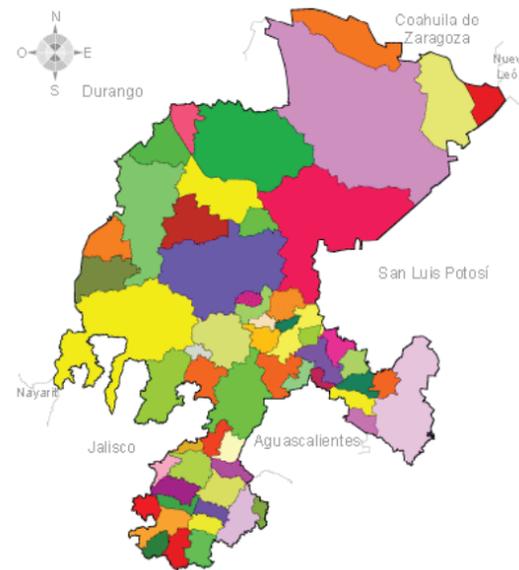


Figura 2. División política y fronteras del estado de Zacatecas [2]

Se encuentra constituido por 58 municipios, y la extensión territorial es de 75 284 km cuadrados, 8ª Entidad federativa por su tamaño. Ocupa el 3.83 % de la superficie total del país. El estado se encuentra en el norte de México específicamente en la Meseta Central de México, que abarca los estados de Zacatecas, Durango, parte de Coahuila; entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental. Esto favorece a la agricultura debido a las corrientes de agua de ambas sierras. La Sierra Madre Occidental es la principal cadena montañosa que atraviesa el estado. La elevación más alta es la Sierra El Astillero con una altitud de 3.200 metros sobre el nivel del mar, seguido por la Sierra de Sombrerete con 3.100 y la Sierra Fría con 3.030. El 38,82% de la superficie estatal es matorral, el 27,38% de la superficie se usa para la agricultura, el 15,67% es pastizal, el 12,66% es bosque, el 1,94% selva y el resto tiene otros usos.

La entidad carece de ríos importantes; los que hay, en su mayor parte son temporales y se forman al escurrir el agua de las montañas en la época de lluvias. El sistema hidrográfico está formado por dos cuencas: la cuenca del Pacífico, integrada por el sistema Chapala-río Grande de Santiago (en este último desembocan los ríos del sureste de la entidad); la cuenca inferior o endorreica que no tiene salida al mar. Pertenecen a la cuenca del Pacífico los ríos San Pedro, Juchipila, Jerez y Tlaltenango. El estado cuenta con un total de 80 presas con una capacidad total de 595,337 millones de metros cúbicos destacándose las presas de: Leobardo Reynoso, (Fresnillo); Miguel Alemán, (Tlaltenango) y el Chique, (Tabasco).

Existen 20 zonas geohidrológicas en el estado en las cuales se localizan 5,891 pozos profundos con fines agrícolas con gastos hidráulicos que oscilan entre 15 y 60 L/s. Con profundidades de 150 a 250 m. y niveles dinámicos promedio de 80 m. Además se tienen 2,441 norias o pozos a cielo abierto de poca profundidad y bajo costo de 5 a 10 L/s. Igualmente, en diversas regiones del estado se localizan 483 pozos de bajo gasto con fines de abrevadero para ganado. El principal problema que enfrenta el agricultor que extrae agua para usos agrícolas es el costo de la electricidad.

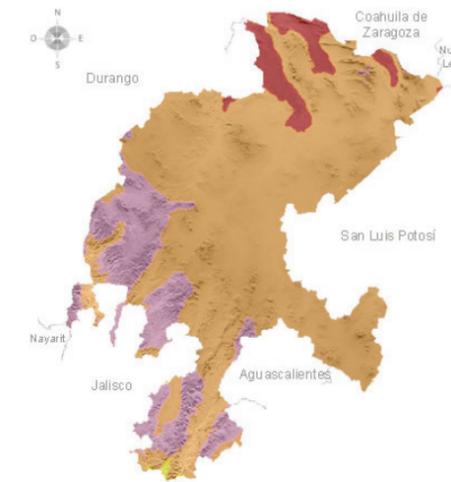


Figura 3. Distribución de los climas del estado de Zacatecas [3]

Tres cuartas partes del territorio zacatecano corresponden a zonas áridas y semiáridas. De ellas, el 14% ofrece condiciones favorables para la agricultura, el 79% para la ganadería y el 7% esta cubierto de bosques maderables y no maderables. En la parte central del estado se localizan los suelos castaños, abundantes en las zonas semiáridas y que se caracterizan por tener una capa de caliche o cal suelta. Este tipo de suelo es favorable para el desarrollo de la agricultura y de la ganadería. Hacia el noreste de Zacatecas se encuentran los suelos característicos de las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México.

El 73% del Estado de Zacatecas presenta clima seco y semiseco, el 17%, presenta clima templado subhúmedo y se localiza hacia el oeste del estado; el 6 % es muy seco se presenta hacia la región norte y noreste, el 4% restante presenta clima cálido subhúmedo y se encuentra hacia el sur y suroeste de la entidad, como se expresa en la Tabla 1. La temperatura media anual es de 17°C, la temperatura máxima promedio es alrededor de 30°C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 3°C y se presenta en el mes de enero. La precipitación media estatal es de 510 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre. El clima seco y semiseco de la entidad es una limitante para la agricultura, ésta se practica de riego y temporal, siendo los principales cultivos: maíz, avena, trigo, frijol, chile, sorgo, nopal y durazno.

Tabla 1. Tipos de clima existentes en el estado de Zacatecas.

Tipo de clima	% referido al total de la superficie estatal
Seco y semiseco	73%
Templado subhúmedo	17%
Muy seco	6%
Cálido subhúmedo	4%

Flora y fauna

Como consecuencia de los diferentes tipos de relieve, de suelo y de clima, la vegetación natural también es muy variada. Así se pueden encontrar bosques, matorrales y pastizales en diferentes ambientes del suelo zacatecano. En la parte sur del Estado se encuentran árboles que pierden sus hojas en invierno y primavera. Predomina el mezquite, el ébano, el palo fierro y el palo verde; entre los pastos son característicos las navajitas.

En las áreas de mayor altitud del Estado y en los límites con Jalisco, se encuentra el bosque mixto, formado por pinos y

encinos; los árboles se mantienen siempre verdes y son propios de zonas montañosas. En los límites de Durango, se localizan bosques de encinos. También se distinguen encinos, aunque de menor tamaño que los anteriores, en los límites de San Luis Potosí.

El Estado cuenta también, con extensas áreas áridas y semidesérticas; pero, no obstante su aridez, estas albergan una gran variedad de vegetación denominada xerófila, o sea, de plantas que soportan la sequedad del ambiente. Entre las plantas xerófitas más importantes se distinguen las cactáceas. En llanos y valles abundan los mezquites, gobernadoras, huisaches, nopales, lechuguillas, guayules y pastizales.

La fauna de las sierras incluye jabalíes, venados cola blanca y liebres; en llanos y valles suelen encontrarse coyotes, tejones, codornices y patos. Otros animales de la región son la víbora de cascabel, chirrioneros, alicante, rata canguro, ratón de campo, gato montés murciélagos, águila, guajolote silvestre, topo, tuza, guacamaya enana y la guacamaya verde.

Agricultura y ganadería

Con respecto al sector primario en el estado de Zacatecas la agricultura es una actividad que reviste gran importancia pues se dispone de grandes recursos agrícolas que se aprovechan eficientemente. Esto no obstante de las limitaciones para la actividad en el estado, como son la baja precipitación pluvial y la accidentada topografía del territorio.

De acuerdo a las cifras del censo de población y vivienda, se sembraron en el estado 1,276,437 ha, de las cuales 1,114,074 ha son de temporal, y 162,363 ha corresponden a la siembra por riego. Cabe mencionar que la siembra de maíz fue de 286,260 ha; 204,086 ha de avena forrajera; 37,875 ha de chile, además de siembra de sorgo, cebolla, ajo, etc. Con respecto a la silvicultura, se obtienen 24,450 m³ en rollo de productos forestales maderables, siendo los principales el encino y el pino.

La ganadería también es prioritaria en la economía, pues el estado de Zacatecas cuenta con grandes extensiones de agostadero 5,388,434 ha susceptibles de aprovecharse en actividades ganaderas. De acuerdo con el censo del año 2000, se producen anualmente 1,037,287 cabezas de ganado bovino entre producción de carne y leche; 245,762 cabezas de porcino; 310,023 cabezas de ganado ovino; 546,414 caprinos; 209,707 equinos entre caballos, asnos y acémilas; 1,862,726 aves gallináceas; 30,442 guajolotes y 46,426 colmenas entre rústicas y modernas. Cabe destacar que a pesar de que el Estado carece de litorales, el volumen de captura de productos acuícola es de 5,095 toneladas, destacando la tilapia, la carpa, el bagre y la lobina.

Recursos minerales

La industria principal de Zacatecas es la minería, principalmente la extracción de plata, oro, mercurio, hierro, zinc, plomo, bismuto, antimonio, sal, cobre, cuarzo, caolín, ónix, cantera, cadmio y Wollastonita.

Zacatecas tiene 13 distritos mineros. Los más importantes son los de Zacatecas, Fresnillo, Concepción del Oro, Sombrerete, Chalchihuites, Mazapil y Noria de Ángeles, entre otros. Existen 86 unidades económicas en la actividad minera. En la siguiente tabla se muestran datos de la producción minera en el último año.

Tabla 2. Producción minera del estado de Zacatecas [4]

Producción Minera 2010 y 2011						
Tipo / Metales	2010 (Avance acumulado Enero a Diciembre)			2011 (Avance acumulado Enero a Junio)		
	Toneladas	% En el Total Nacional	Lugar Nacional	Toneladas	% En el Total Nacional	Lugar Nacional
Zinc	154,184	32.4	1ro de 8	121,452	42.7	1ro de 8
Plomo	73,931	45.8	1ro de 8	55,507	55.1	1ro de 7
Cobre	37,781	14.5	2do de 9	20,948	10.3	2do de 9
Plata	1,855,145*	46.4	1ro de 13	1,024,342*	43.4	1ro de 12
Oro	9,453*	13.5	3ro de 10	6,856.1*	16.3	3ro de 10

* Dato en kg

Producto interno bruto

El Estado de Zacatecas tradicionalmente ha tenido una aportación pequeña al producto interno bruto (PIB). En la actualidad su participación en el total nacional es tan solo de 0.8%. Datos de 2003 a 2009 son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 3. PIB del estado de Zacatecas [4].

Producto interno bruto y per capita del 2003 al 2009					
Año	Producto interno bruto total			Producto interno bruto per capita	
	Millones de pesos constantes (base 2003 = 100)	Porcentaje total nacional	Lugar nacional	Pesos constantes (base 2003 = 100)	Lugar nacional
2003	53,417	0.7	28	38,583.0	29
2004	56,149	0.8	28	40,551.1	29
2005	57,190	0.7	28	41,322.2	28
2006	60,285	0.7	28	43,580.6	28
2007	61,755	0.7	28	44,666.3	28
2008	66,352	0.8	28	48,032.3	28
2009	66,537	0.8	28	48,223.9	26

La contribución de servicios comunales, sociales y personales aporta un 25.9% del PIB al estado, siendo esta la más alta. Por su parte, comercios, hoteles y restaurantes aportan el 15.6%, mientras que el sector energético participa con tan solo el 2.2%.

Población

De acuerdo a estimaciones del INEGI, en el 2010, el número de habitantes en el Estado de Zacatecas es de 1,490, 668, lo que corresponde al 25° lugar a nivel Nacional. La densidad poblacional es de 20 personas por Km², cifra muy por debajo de la media nacional, estimada en 57 habitantes por Km².

La mayor parte de la población Estatal se encuentra concentrada en los municipios de Fresnillo con 213 139 habitantes, Guadalupe con 159,991, y Zacatecas capital con un total de 138 176 habitantes. El resto de la población se distribuye en los 55 municipios restantes como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Número de habitantes por municipio en el estado de Zacatecas (2)

Municipio	Cabecera Municipal	Habitantes (año 2010)
Apozol	Apozol	6,314
Apulco	Apulco	5,005
Atolinga	Atolinga	2,692
Benito Juárez	Florencia	4,372
Calera	Víctor Rosales	39,917
Cañitas De Felipe Pescador	Cañitas De Felipe Pescador	8,239
Concepción Del Oro	Concepción Del Oro	12,803
Cuauhtémoc	San Pedro Piedra Gorda	11,915
Chalchihuites	Chalchihuites	10,565
Fresnillo	Fresnillo	213,139
Trinidad García De La Cadena	Trinidad García De La Cadena	3,013
Genaro Codina	Genaro Codina	8,104
General Enrique Estrada	General Enrique Estrada	5,894

Municipio	Cabecera Municipal	Habitantes (año 2010)
General Francisco R. Murguía	Nieves	21,974
El Plateado De Joaquín Amaro	El Plateado De Joaquín Amaro	1,609
General Pánfilo Natera	General Pánfilo Natera	22,346
Guadalupe	Guadalupe	159,991
Huanusco	Huanusco	4,306
Jalpa	Jalpa	23,557
Jerez	Jerez de García Salinas	57,610
Jiménez del Teul	Jiménez del Teul	4,584
Juan Aldama	Juan Aldama	20,543
Juchipila	Juchipila	12,284
Loreto	Loreto	48,365
Luis Moya	Luis Moya	12,234
Mazapil	Mazapil	17,813
Melchor Ocampo	Melchor Ocampo	2,662
Mezquital del Oro	Mezquital del Oro	2,584
Miguel Auza	Miguel Auza	22,296
Momax	Momax	2,529
Monte Escobedo	Monte Escobedo	8,929
Morelos	Morelos	11,493
Moyahua de Estrada	Moyahua de Estrada	4,563
Nochistlán de Mejía	Nochistlán de Mejía	27,932
Noria de Ángeles	Noria de Ángeles	15,607
Ojocaliente	Ojocaliente	40,740
Pánuco	Pánuco	16,875
Pinos	Pinos	69,844
Rio Grande	Rio Grande	62,693
Sain Alto	Sain Alto	21,533
El Salvador	El Salvador	2,710
Sombrerete	Sombrerete	61,188
Susticacán	Susticacán	1,360
Tabasco	Tabasco	15,656
Tepechitlán	Tepechitlán	8,215
Tepetongo	Tepetongo	7,090
Teúl de González Ortega	Teúl De González Ortega	5,506
Tlaltenango de Sánchez Román	Tlaltenango de Sánchez Román	25,493
Valparaíso	Valparaíso	33,323
Vetagrande	Vetagrande	9,353
Villa de Cos	Villa de Cos	34,328
Villa García	Villa García	18,269
Villa González Ortega	Villa González Ortega	12,893
Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	18,490

Municipio	Cabecera Municipal	Habitantes (año 2010)
Villanueva	Villanueva	29,395
Zacatecas	Zacatecas	138,176
Trancoso	Trancoso	16,934
Santa María de la Paz	Santa María de la Paz	2821

Del total de habitantes zacatecanos, el 59% es población urbana, mientras que el restante 41% corresponde a población rural

Vivienda

En el 2010, en Zacatecas hay 372,513 viviendas particulares, de las cuales: 340,475 disponen de agua entubada dentro o fuera de la vivienda, pero en el mismo terreno, lo que representa el 91.4%. Mientras que 331,947 tienen drenaje, lo que equivale al 89.1%, y 366,164 cuentan con energía eléctrica, esto es el 98.3%. El promedio de habitantes por vivienda particular habitada es de 4.

Energía

En este capítulo, se calculan las emisiones de gases de efecto invernadero que se realizan dentro del estado de Zacatecas a causa de la combustión de energéticos diversos. El IPCC define las categorías principales de interés para el inventario como son la producción de energía y los sectores de transporte, industria, residencial y otros donde se incluyen la agricultura y los servicios.

Debe hacerse la precisión de que en el balance energético para el estado de Zacatecas se incluye un cálculo de huella de carbono para el estado. Esta información no debe confundirse con la presentada en el inventario de GEI's del estado debido a que su naturaleza es completamente diferente. Mientras que la huella de carbono nos dice cuanto carbono en forma de CO₂eq se ha liberado a la atmósfera a causa de nuestros consumos sin importar donde se han emitido, el inventario de gases de efecto invernadero solo censa las emisiones que son realizadas dentro del estado. Debido a que el efecto del calentamiento global es un problema sin fronteras, la huella de carbono es importante para saber cual es la aportación del estado de Zacatecas a dicha situación, sin embargo, es inútil para detectar nichos de oportunidad en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, debido a que mucha de la energía que se consume en Zacatecas no se produce en el estado, sin embargo un inventario de GEI's permite que se detecten las oportunidades de trabajo para reducir dichas emisiones.

Para realizar el cálculo de cuando CO₂eq se libera a la atmosfera, tomaremos los valores de potencial de calentamiento para el CO₂ de 1, para el CH₄ de 21 y para el N₂O de 310 que son los valores para una proyección a 100 años [5].

Datos de actividad

En el estado de Zacatecas, no existe generación de energía eléctrica, por lo tanto, las únicas categorías señaladas por el IPCC para esta categoría son las enlistadas en la siguiente tabla:

Tabla 5. Categorías del IPCC para el cálculo de emisiones en energía [6]

Tipo de consumidor	Sector
Fuentes fijas de combustión	Industria manufacturera y la construcción.
Fuentes móviles de combustión	Transporte carretero
	Transporte aéreo
Otros sectores	Sector Residencial
	Sector Comercial
	Sector Agropecuario.

El consumo en estos sectores, se basa principalmente en combustibles líquidos como gasolina (magna y premium), diésel, turbocina y gasavión. En menor medida, se consumen combustibles sólidos como la leña, el carbón y los gaseosos como el gas LP y el gas seco. La Tabla 6 muestra cuanto consumo se realizó por combustible en los años que abarca el inventario. Esta tabla se toma íntegramente del balance energético del estado de Zacatecas.

Tabla 6. Cantidad de combustible utilizada en el estado de Zacatecas por año [7].

Combustible / unidad	2005	2006	2007	2008	2009
Gasolina (m³)	370,942.74	522,072.19	562,456.32	584,260.67	620,665.64
Diésel (m³)	229,008.15	244,767.86	253,159.54	308,875.07	286,232.29
Queroseno (L)	14,252,376.00	16,932,619.00	13,394,765.00	12,454,452.00	9,903,554.00
Gas LP (BI)	1,638,291.00	1,685,106.00	1,689,294.00	1,830,280.00	1,666,857.00
Gas Seco (PJ)	5.57	6.01	6.19	7.70	8.41
Combustóleo (PJ)	2.951	2.632	2.766	2.946	3.185
Carbón (PJ)	0.013	0.017	0.020	0.024	0.019
Coque de carbón (PJ)	0.16	0.14	0.14	0.19	0.21
Coque de petróleo (PJ)	0.32	0.44	0.46	0.47	0.49
Leña (m³)	1,725.00	6,172.00	1,860.00	2,030.75	1,693.00

No obstante la cantidad de información en la Tabla 6, la diferencia entre las unidades de medición reportadas hace imposible una comparación instantánea entre los diferentes combustibles, sin embargo, convirtiendo todos estos números a unidades de energía obtenemos datos comparables entre distintos combustibles Tabla 8. Para esto, es necesario, conocer el poder calorífico de cada combustible, mismo que es reportado en el balance energético nacional [8], dado que algunos datos nos son entregados directamente en unidades de energía, no de todos los combustibles se requirió el poder calorífico como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Poder calorífico para los combustibles utilizados [8].

	2005	2006	2007	2008	2009	Unidades
Gasolina	4872.00	4872.00	5025.00	5542.00	5182.00	(MJ/BI)
Diésel	5426.00	5426.00	5652.00	5952.00	5692.00	
Querosenos	5223.00	5223.00	5376.00	5450.00	5477.00	
Gas LP	3765.00	3765.00	4177.00	4251.00	4248.00	
Leña	14486	14486	14486	14486	14486	(MJ/Ton)

Tabla 8. Cantidad de energía por combustible (TJ) que se consumió en el estado de Zacatecas por año [7].

Combustible	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Gasolina (TJ)	11366	15997	17776	20365	20228	85732
Diésel (TJ)	7815	8353	8999	11562	10247	46976
Queroseno (TJ)	468	556	453	427	341	2245
Gas LP (TJ)	6168	6344	7056	7781	7081	34430
Gas Seco (TJ)	5571	6014	6193	7696	8410	33884
Combustóleo (TJ)	2951	2632	2766	2946	3185	14481
Carbón (TJ)	13	17	20	24	19	94
Coque de carbón (TJ)	163	142	137	195	209	845
Coque de petróleo (TJ)	323	443	460	469	493	2188
Leña (TJ)	12	45	13	15	12	98
Total (TJ)	34852	40543	43874	51479	50225	220973

La cantidad de energía total que se consumió en el estado se representa en la Figura 4, misma que nos da una idea de la proporción entre los diferentes combustibles.

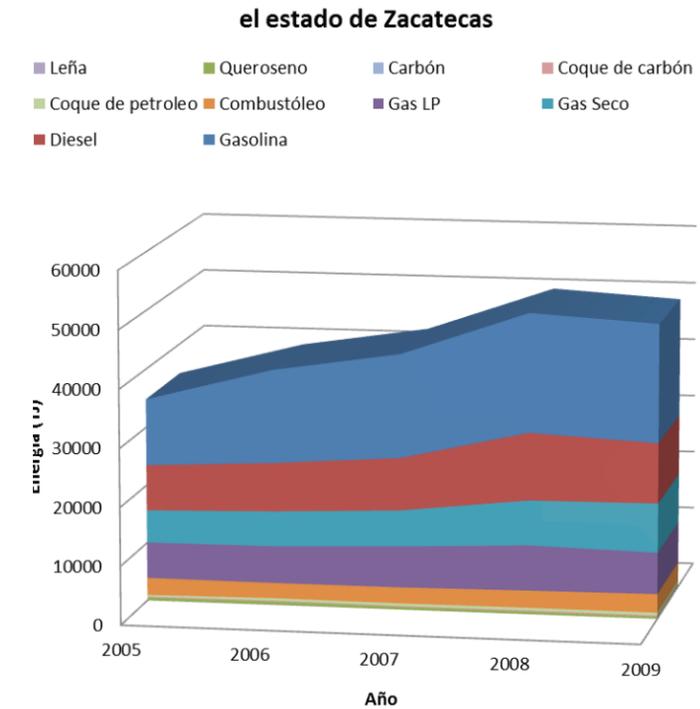


Figura 4. Energía (TJ) consumida en el estado de Zacatecas entre el 2005 y 2009 [7].

En la Figura 5 se ilustra el detalle de los combustibles de menor uso que no pueden ser apreciados en la figura anterior.

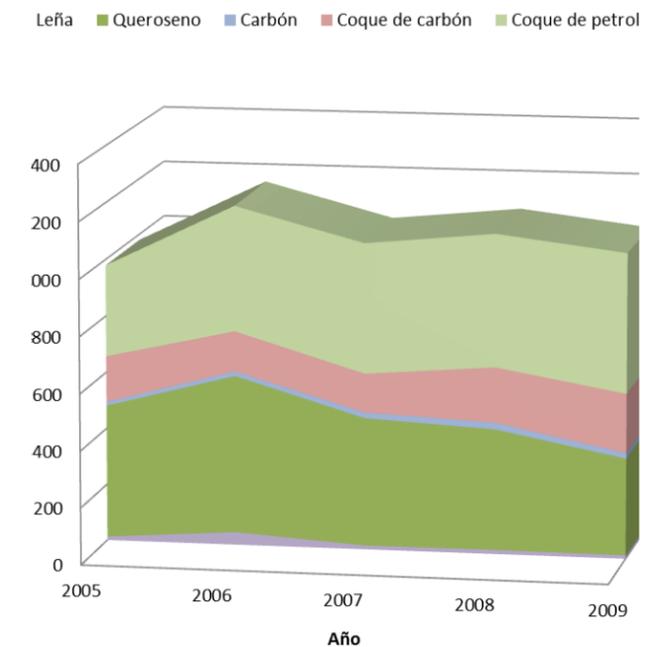


Figura 5. Cantidad de energía de combustibles consumida en el estado de Zacatecas entre el 2005 y 2009 (Combustibles con menor aporte) [7].

Balance energético y factores económicos.

El balance energético para el estado de Zacatecas [6], reporta que no existen formas de producción de energía en el estado, salvo la producción de leña, en los años en los que se realizó el inventario. El PIB de un estado y la cantidad de energía que gasta, son cantidades íntimamente relacionadas, en la Figura 6 se grafica el comportamiento de ambos indicadores para los años del inventario. A fin de poder compararlos se les asignó un valor porcentual a la actividad de cada año siendo para el caso del consumo energético el 2008 el año equivalente al 100% y para el PIB el 2009. La Tabla 9 contiene la información del PIB del estado de Zacatecas para los años del inventario y su aportación al total nacional.

Tabla 9. PIB Nacional, PIB Estatal y relación porcentual entre ellos [9].

Año	PIB Nacional	PIB Estatal	Porcentaje
2005	8,825,084,623	64,686,245	0.733%
2006	9,943,093,489	73,903,325	0.743%
2007	10,854,383,553	80,830,484	0.745%
2008	11,837,771,712	91,497,996	0.773%
2009	11,394,220,104	99,414,313	0.872%

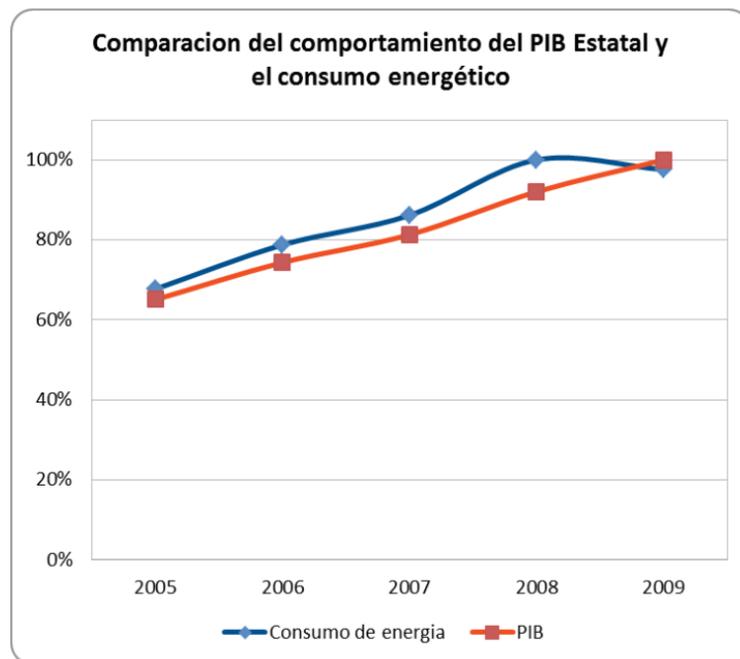


Figura 6. Relación de actividad entre el PIB y el consumo energético de estado de Zacatecas.

En la siguiente tabla se puede ver la participación de cada sector respecto al consumo final total, por lo cual podemos determinar que de 2005 a 2009, el sector transporte contribuyó con el 58.39% en promedio, seguido del sector industrial 25.58%, los sectores agropecuario, residencial, comercial y público contribuyeron con el 16.04% del consumo final total. En la Figura 7 se muestra esta información graficada por año.

Tabla 10. Consumo porcentual de energía por año y por sector [7].

Sector \ Año	2005	2006	2007	2008	2009
Residencial, Comercial y público	12.76%	11.91%	12.11%	11.46%	10.52%
Transporte	55.15%	59.52%	59.93%	60.11%	57.22%
Agropecuaria	4.66%	4.20%	4.30%	3.73%	4.54%
Industrial	27.43%	24.37%	23.66%	24.70%	27.72%

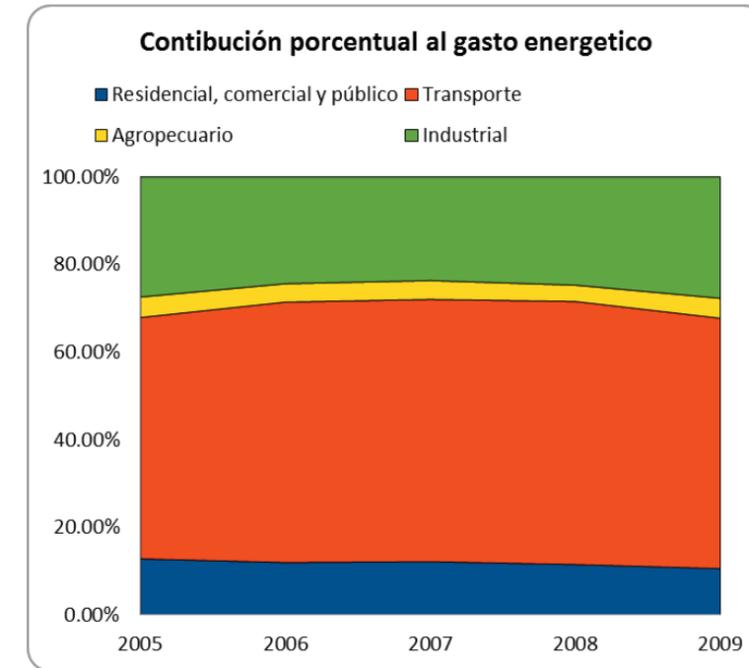


Figura 7. Contribución porcentual al gasto energético del estado de cada sector [7].

Resultados

Para realizar el cálculo de las emisiones en el estado, se utilizaron los factores de emisión por defecto según el IPCC. En la Tabla 11 se muestran los factores usados para fuentes fijas mientras que en la Tabla 12, los usados en fuentes móviles.

Tabla 11. Factores de emisión para fuentes fijas.

Factores de emisión (Combustión estacionaria).			
	kg de CO ₂ / TJ	kg de CH ₄ / TJ	kg de N ₂ O / TJ
Gasolina	69,300	3.0	0.60
Diesel	74,100	3.0	0.60
Querosenos	71,500	3.0	0.60
Gas LP	63,100	1.0	0.10
Gas Seco	63,100	1.0	0.10
Combustóleo	74,100	3.0	0.60
Carbón	94,600	1.0	1.60
Coque de carbón	94,600	1.0	1.60
Coque de petróleo	97,500	3.0	0.60
Leña	112,000	30.0	4.00

Tabla 12. Factores de emisión para fuentes móviles.

Factores de emisión (Fuentes Móviles)		
	kg de CH4/ TJ	kg de N2O / TJ
Gasolina	33.0	3.20
Diesel	3.90	3.90
Querosenos	0.5	2
Gas LP	62.0	0.20

Los factores de emisión de fuentes móviles, solo se utilizaron en el subsector transporte.

En el estado de Zacatecas, se emitieron un total de 220,973 Gigagramos de dióxido de carbono equivalente a causa de la combustión de energéticos durante los años que se analizaron en el inventario, mismas que se reparten en los años del mismo de la siguiente forma por sector.

Tabla 13. . Cantidad en Gg de CO2 equivalente emitido a la atmósfera por sector por año.

Sector \ Año	2005	2006	2007	2008	2009	Total por sector
Residencial, comercial y público	342.25	390.20	436.30	495.29	439.48	2,103.52
Transporte	1,479.46	1,949.61	2,159.87	2,598.76	2,391.01	10,578.73
Agropecuario	125.05	137.56	154.96	161.34	189.68	768.59
Industrial	735.71	798.11	852.61	1,067.93	1,158.19	4,612.55
Total por año	2,682.47	3,275.47	3,603.74	4,323.33	4,178.37	18,063.38

Aportación porcentual de cada sector a la producción de CO2eq

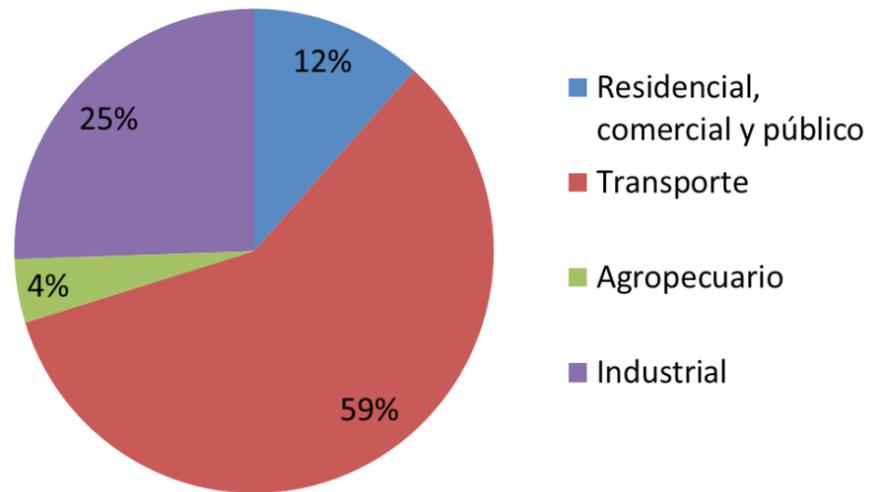


Figura 8. Porcentaje de emisiones correspondientes a cada sector.

En la Tabla 14 se da detalle por año y por tipo de combustible de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O por año, así como de CO₂ equivalente.

Tabla 14. Emisiones de gases de efecto invernadero por combustible por año. (Gg)

Tipo de combustibles	Emisión de CO2	Emisión de CH4	Emisión de N2O	Emisión de CO2(eq)	Emisión de CO2	Emisión de CH4	Emisión de N2O	Emisión de CO2(eq)
2005					2006			
Gasolina	787.68	4.38E+00	3.83E-01	998.37	1108.60	8.39E+00	7.33E-01	1512.08
Diesel	579.10	6.96E-02	1.74E-01	634.50	618.95	7.94E-02	2.04E-01	683.90
Querosenos	33.47	8.57E-04	5.88E-04	33.67	39.77	8.96E-04	7.67E-04	40.03
Gas LP	389.21	3.18E-01	1.13E-03	396.25	400.33	2.31E-01	1.00E-03	405.50
Gas Seco	351.55	5.57E-03	5.57E-04	351.84	379.49	6.01E-03	6.01E-04	379.81
Combustoleo	218.70	8.85E-03	1.77E-03	219.43	195.04	7.90E-03	1.58E-03	195.70
Carbón	1.27	1.34E-05	2.15E-05	1.28	1.60	1.69E-05	2.70E-05	1.61
Coque de carbón	15.38	1.63E-04	2.60E-04	15.46	13.40	1.42E-04	2.27E-04	13.47
Coque de petróleo	31.49	9.69E-04	1.94E-04	31.57	43.19	1.33E-03	2.66E-04	43.30
Leña	N/A	3.75E-04	5.00E-05	0.02	N/A	1.34E-03	1.79E-04	0.08
2007					2008			
Gasolina	1231.86	1.02E+01	8.87E-01	1720.41	1411.27	1.32E+01	1.15E+00	2043.17
Diesel	666.83	8.99E-02	2.36E-01	741.84	856.78	1.38E-01	3.86E-01	979.29
Querosenos	32.38	8.46E-04	5.59E-04	32.57	30.52	8.25E-04	5.11E-04	30.70
Gas LP	445.25	3.13E-01	1.21E-03	452.19	490.95	3.38E-01	1.32E-03	498.46
Gas Seco	390.78	6.19E-03	6.19E-04	391.10	485.59	7.70E-03	7.70E-04	485.99
Combustoleo	204.97	8.30E-03	1.66E-03	205.66	218.30	8.84E-03	1.77E-03	219.03
Carbón	1.92	2.03E-05	3.25E-05	1.93	2.25	2.37E-05	3.80E-05	2.26
Coque de carbón	12.97	1.37E-04	2.19E-04	13.04	18.45	1.95E-04	3.12E-04	18.55
Coque de petróleo	44.85	1.38E-03	2.76E-04	44.96	45.73	1.41E-03	2.81E-04	45.84
Leña	N/A	4.04E-04	5.39E-05	0.03	N/A	4.41E-04	5.88E-05	0.03
2009								
Gasolina	1401.82	1.28E+01	1.11E+00	2014.76				
Diesel	759.28	1.06E-01	2.80E-01	848.45				
Querosenos	24.39	7.33E-04	3.68E-04	24.52				
Gas LP	446.80	2.69E-01	1.14E-03	452.80				
Gas Seco	530.65	8.41E-03	8.41E-04	531.08				
Combustoleo	236.03	9.56E-03	1.91E-03	236.82				
Carbón	1.83	1.94E-05	3.10E-05	1.84				
Coque de carbón	19.76	2.09E-04	3.34E-04	19.87				
Coque de petróleo	48.07	1.48E-03	2.96E-04	48.19				
Leña	N/A	3.68E-04	4.90E-05	0.02				

Los factores de emisión usados en la Tabla 14, se detallan en el Anexo B: Factores de emisión.

Finalmente se ilustra en la Figura 9 la relación que existe entre la emisión por año y por sector de CO₂ equivalente.

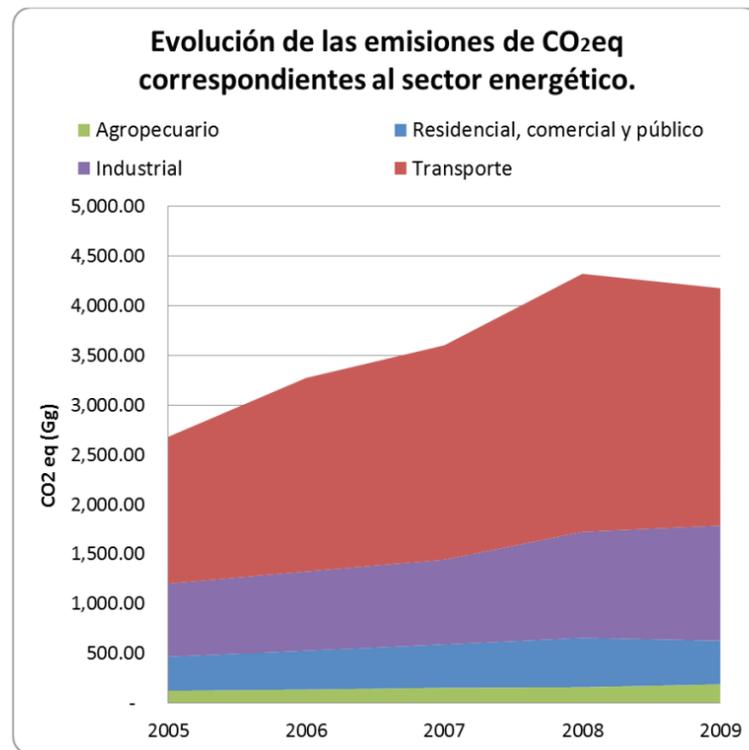


Figura 9. Evolución de las emisiones de CO₂ equivalente por sector y por año.

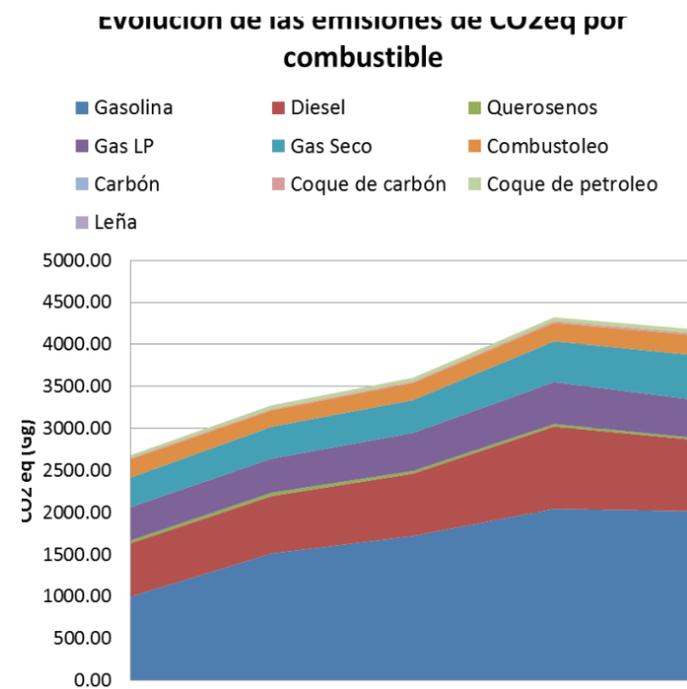


Figura 10. Evolución de las emisiones anuales por combustible.

Resulta evidente que la fuente de GEI's mas grande del estado en esta categoría es el consumo de gasolinas y diesel, en consecuencia con la información de la Figura 8, el transporte automotor, contribuye con la mayor parte de la emisión de GEI's en el estado de Zacatecas.

Procesos Industriales

En este capítulo, se estiman las emisiones de GEI's procedentes de diversos procesos industriales. A diferencia del capítulo anterior, estas emisiones no son provenientes de la combustión de un material, si no que son emisiones que escapan de un determinado proceso industrial.

Debido a que la información que es utilizada como variable de entrada en los cálculos referentes a cemento y cal en este capítulo son tomados de los censos económicos del INEGI y este solo cubre el año 2009, no existe información referente a la producción de las distintas ramas industriales para los años del 2005 al 2008.

Datos de actividad

La actividad industrial en el estado de Zacatecas reportada por el INEGI es diversa y cubre una lista extensa de actividades. Sin embargo, las categorías de interés para este inventario según el IPCC son:

Tabla 15. Procesos industriales que son de interés para el inventario de GEI's.

Categoría	Subcategoría
Productos Minerales	Producción de Cemento
	Producción de óxido e hidróxido de calcio
	Uso de piedra caliza y dolomita
	Producción y uso de carbonato de Sodio
	Impermeabilizantes asfaltados
	Pavimentación con asfalto
	Otros
Industria Química	Producción de amonio
	Producción de ácido nítrico
	Producción de ácido adípico
	Producción de carburos
	Otros
Producción de metales	Producción de hierro y acero
	Producción de ferroatleaciones
	Producción de aluminio
	Uso de SF ₆ en fundidoras de aluminio y magnesio
	Otros
Otros Procesos industriales	Pulpa y papel
	Alimentos y bebidas
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre	Emisiones como residuos o subproductos
	Emisiones fugitivas
	Otros
Consumo de Halocarbonos y hexafluoruros de azufre	Equipos de refrigeración y aire acondicionado
	Espumas
	Extinguidores
	Aerosoles
	Solventes
	Otros
Otros	Otros

De estas subcategorías, las que se encuentran en el estado de Zacatecas se mencionan en la Tabla 16, mientras que los demás, son inexistentes en el estado.

Tabla 16. Industrias que se toman en cuenta para el inventario de GEI's de Zacatecas.

Categoría	Subcategoría
Productos Minerales	Producción de óxido e hidróxido de calcio
	Uso de piedra caliza y dolomita

Producción de Cal (Hidróxido de calcio).

El proceso de producción de cal, libera CO₂ bajo el mismo principio que el proceso de producción de cemento. La empresa Cal Química Mexicana, controla la producción de cal en el estado de Zacatecas; se le solicita a esta la cantidad de cal procesada por año desde el 2005 al 2009. Tomando en consideración un factor de emisión para la producción de cal de 0.79 ton de CO₂ por ton de cal [10], podemos fácilmente calcular los gases emitidos. Estos se expresan en la

Año	Gg de cal producida	Gg de CO ₂ emitido
2005	42.6	33.654
2006	41.604	32.867
2007	45.54	35.976
2008	40.929	32.333
2009	50.072	39.556

Uso de piedra caliza.

Está documentado en el Anuario Estadístico de Minería [11] que en el Estado de Zacatecas existe producción de piedra caliza. Si se asume que toda la piedra caliza que se extrae pasa por procesos industriales, se deben calcular las emisiones correspondientes a los años en cuestión, del 2005 al 2009.

Para esto se usa un factor de emisión de 0.440 ton de CO₂ por ton de piedra caliza utilizada en el proceso industrial [10]. Además, se debe hacer un ajuste para no contabilizar de manera duplicada la piedra caliza utilizada en la producción cal que se inventario anteriormente. Para esto último, consideramos que para la producción de cada tonelada de cal se utilizan dos toneladas de piedra caliza [12]. En la Tabla 17 se visualiza el ajuste realizado, y las emisiones correspondientes a cada año por el uso de piedra caliza.

Tabla 17. Producción de piedra caliza y emisiones derivadas [11] y [13].

Año	Piedra Caliza/Gg	Usada para cal/Gg	Piedra caliza que se contabiliza/Gg	Emisiones de CO ₂ /Gg
2005	98	85.20	12	5.46
2006	90	83.21	7	2.99
2007	73	91.08	N/A	N/A
2008	674	81.86	592	260.51
2009	605	100.14	504.86	222.14

Industria siderúrgica

El hierro bruto se produce por reducción de minerales de óxido de hierro, sobre todo en altos hornos, usando generalmente el carbono contenido en el coque o el carbón vegetal (complementado a veces con hulla o petróleo), como combustible y también como reductor. En la mayoría de los hornos de hierro, se ayuda al proceso utilizando fundentes carbonatados (caliza). Se producen más emisiones cuando el fundente de caliza o dolomita desprende CO₂ durante la reducción del arrabio en el alto horno, pero esta categoría de fuentes está comprendida en las emisiones procedentes del uso de caliza. Excepto una pequeña cantidad de carbono retenida en el hierro bruto, todo el carbono del coque y de

los fundentes se emite como producto de la combustión y la calcinación. También se desprenden emisiones en mucho menor grado durante la producción de acero, que es esencialmente el proceso de eliminación (generalmente por oxidación) de la mayor parte del carbono contenido en el hierro bruto.

Debido a que en este caso, los agentes reductores son también combustibles, se evita la doble contabilización al asumir que los mismos ya fueron considerados en el capítulo de energía. Esto es, el uso de coques, y hulla en el sector industrial, así como de carbón, corresponde en este caso a la doble función de combustible y agente reductor.

Como resultado del inventario para los procesos industriales tenemos que:

Tabla 18. Emisiones de CO₂ del sector industrial en el estado de Zacatecas para el año 2009 (Gg)

Proceso Industrial	Emisión de CO ₂ (Gg)				
Año	2005	2006	2007	2008	2009
Producción de Cal	33.65	32.87	35.98	32.33	39.56
Utilización de piedra caliza	5.46	2.99	N/A	260.51	222.14
Total	39.11	35.86	35.98	292.84	261.70

Agricultura

Las actividades del campo representan emisiones de GEI's que son directamente resultado de la acción del hombre, del mismo modo que el consumo energético y la producción industrial. Las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes a dicho rubro, se censan en este capítulo.

Ganadería.

El ganado que se produce en el estado de Zacatecas, constituye una fuente importante de emisiones de gas metano. La cantidad que se emite depende principalmente del número de animales, el tipo de aparato digestivo y la clase y la cantidad de alimentos que consumen. El ganado vacuno y el ovino son las mayores fuentes de emisión de metano entérico en el mundo.

Para recopilar los datos necesarios para el cálculo de estas emisiones, se recurrió al sistema de INFOMEX mediante la solicitud 00007712 donde se solicitó el censo ganadero por año desde el 2005 al 2009, la respuesta de la secretaria de desarrollo agropecuario (SEDAGRO), fue la siguiente:

Tabla 19. Censo de ganado proporcionado por la SEDAGRO. Cantidad de cabezas.

Especie	2005	2006	2007	2008	2009
Bovino (carne y leche)	905,132	1,040,083	1,009,405	1,029,880	968,261
Bovino para carne	823,399	945,827	916,786	935,350	874,431
Bovino para leche	81,733	94,211	92,619	94,530	93,830
Porcino	230,004	239,601	227,229	230,607	199,407
Ovino	385,768	396,242	303,747	339,830	341,252
Caprino	550,005	586,963	576,503	562,744	569,178
Ave (carne y huevo)	1,174,962	1,231,748	1,201,386	1,190,774	1,199,697
Ave para carne	382,105	362,448	362,458	388,649	408,649
Ave para huevo	792,857	869,300	838,928	802,125	791,048
Guajolote	31,403	23,524	30,642	30,233	28,779
Abeja (colmenas)	39,620	45,053	43,050	46,314	46,714

A partir de la información recibida, se puede realizar el cálculo si se tiene, según la metodología del IPCC los factores de emisión para cada especie. Esto significa, necesitamos saber, cuantos kilogramos de metano produce al año en promedio cada cabeza de cada especie de ganado.

Para este fin el IPCC emite una tabla de factores de emisión por defecto para países en vías de desarrollo en su manual de buenas prácticas (Tabla 20).

Tabla 20. Factores de emisión para ganadería por tipo de animal publicados por la IPCC para países en vías de desarrollo [9].

Tipo de animal	FE para la fermentación entérica. (Kg CH ₄ /Cab/año)	FE para los sistemas de manejo de estiércol. (Kg CH ₄ /Cab/año)
Porcino	1	1
Ovino	5	0.16
Caprino	5	0.17
Aves		0.018
Bovino no lechero	49	0.694
Bovino lechero	104.353	1

Una vez que se tienen ambos datos, puede fácilmente conocerse las emisiones de metano totales para cada especie (Tabla 21).

Tabla 21. Emisiones de CH₄ por año y por especie para la ganadería (Gg CH₄).

Producción de CH ₄ por año y por especie en Gg						
Especie	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Bovino no lechero	41.99	48.24	46.76	47.70	44.60	229.29
Bovino lechero	8.61	9.92	9.75	9.95	9.88	48.13
Porcino	0.46	0.48	0.45	0.46	0.40	2.25
Ovino	1.99	2.04	1.57	1.75	1.76	9.12
Caprino	2.84	3.03	2.98	2.91	2.94	14.71
Aves	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.11
Total	55.91	63.73	61.53	62.79	59.60	303.56

Para fines comparativos, debemos calcular la cantidad de CO₂ equivalente en base a los resultados de la Tabla 21. Considerando que el potencial de efecto invernadero del CH₄ es 21 veces más grande que el del CO₂, obtenemos:

Tabla 22. Cantidad de CO₂ equivalente emitido a la atmósfera en los años del inventario debido a las existencias de ganado en el estado de Zacatecas.

Emisiones del sector ganadero en CO ₂ equivalente.						
Especie	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Bovino no lechero	881.86	1012.98	981.88	1001.76	936.52	4815.00
Bovino lechero	180.82	208.43	204.91	209.13	207.59	1010.88
Porcino	9.66	10.06	9.54	9.69	8.38	47.33
Ovino	41.80	42.94	32.91	36.82	36.98	191.45
Caprino	59.71	63.73	62.59	61.10	61.80	308.92
Aves	0.46	0.47	0.46	0.46	0.46	2.32
Total	1174.31	1338.61	1292.29	1318.96	1251.73	6375.90

De lo anterior, podemos deducir, que en el Estado de Zacatecas el ganado bovino y caprino tienen la aportación más importante de CO₂ equivalente superando inclusive al ovino que representa el segundo lugar a nivel mundial según el mismo IPCC.

Residuos

En este capítulo, se presenta la información correspondiente al manejo, tratamiento y disposición de residuos sólidos y aguas residuales clasificados por municipales e industriales.

La información requerida sobre las actividades relacionadas a este rubro por la guía de buenas prácticas del IPCC [14] se refieren a la generación, composición y disposición de residuos sólidos (industriales y municipales), generación per cápita, cantidad de sitios de disposición final y tipo de manejo de los mismos (controlados o no controlados).

En la metodología del IPCC sobre buenas prácticas [14], también se trata la quema de basura y el tratamiento biológico de la misma, sin embargo, sobre estas dos actividades no se tiene reporte oficial alguno, en particular sobre la quema de basura, que es una práctica legalmente prohibida en el estado. De esta sabemos que si bien se lleva a cabo, será en una proporción tan pequeña que no afecta el resultado de este inventario.

Datos de actividad

Debido a la descomposición a la que está sujeta la materia orgánica, los residuos sólidos urbanos (RSU), tienen una alta capacidad para producir metano (CH₄), mismo que es uno de los ya mencionados gases de efecto invernadero. Por otro lado, los sitios de disposición de residuos sólidos (SDRS) también producen óxido nitroso (N₂O) y bióxido de carbono (CO₂). Aunque existen otras emisiones diferentes a las anteriormente mencionadas, la metodología del IPCC 1996 no las contempla y por lo tanto no serán contabilizadas.

Generación

La cantidad de residuos sólidos urbanos que se generan en el país son censados por el INEGI desde el 2000 hasta el 2009, dichos datos se presentan por regiones que son, centro, norte, distrito federal, sur y frontera norte. El estado de Zacatecas pertenece a la zona norte de dicho censo. Los datos se presentan como total de residuos generados en el año y producción per cápita. Este dato per cápita se utiliza para calcular la producción anual total de residuos dentro del estado de Zacatecas [15].

Tabla 23. Generación per cápita de residuos sólidos urbanos para el estado de Zacatecas [15].

Año	Población total (Hab)	RSU anuales (Gg)	RSU percapita anual (kg)	RSU percapita diario (kg)
2000	1353610.00	310.58	229.44	0.628
2001	1356426.40	314.69	231.99	0.635
2002	1359242.80	317.98	233.93	0.640
2003	1362059.20	321.2	235.81	0.646
2004	1364875.60	346.75	254.05	0.696
2005	1367692.00	347	253.71	0.695
2006	1392287.20	350	251.38	0.688
2007	1416882.40	359	253.37	0.694
2008	1441477.60	363	251.82	0.689
2009	1466072.80	372	253.73	0.695

Composición

Actualmente en el estado de Zacatecas no se cuenta con la información de la composición de los residuos sólidos urbanos, sin embargo el Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas, el IEMAZ, utiliza los datos de la media nacional proporcionados por SEDESOL [16] expresados en la Tabla 24, sin embargo, el INEGI [17], proporciona la composición de los RSU reciclables en el país (Tabla 25).

Tabla 24. Composición de la basura en Zacatecas según los promedios nacionales [16].

Tipo de RSU	Porcentaje
Desperdicio de comida, jardines, materiales orgánicos y similares.	50.4%
Metales	3.5%
Vidrios	6.4%
Plásticos	6.4%
Textiles	1.5%
Papel, cartón y productos de papel	14.9%
Otro tipo de basura (Pañales desechables, desechos finos, etc)	17.3%

Tabla 25. Generación nacional de RSU reciclables [17].

Tipo de basura	2005	2006	2007	2008	2009
Total de RSU reciclables	11415	11657	11903	13335	13594
Total de RSU a nivel nacional	35405	36135	36865	37595	38325
Fracción de RSU Reciclable	32%	32%	32%	35%	35%
Residuos varios	10229	10447	10605	12042	12276
Papel, cartón, productos de papel	5275	5388	5489	5199	5300
Textiles	530	542	552	538	548
Plásticos	2162	2208	2223	4094	4174
Vidrios	2262	2309	2341	2211	2254
Metales	1186	1210	1298	1293	1318
Aluminio	620	633	650	650	663
Ferrosos	336	343	410	408	415
Otros no ferrosos	230	234	238	235	240

Dada la duplicidad de las fuentes respecto a la composición, se realizó el análisis sobre la fracción correspondiente a cada tipo de RSU resultante de los datos que provee el INEGI, estos resultados se encuentran en la Tabla 26. En ésta, se puede observar, que los datos obtenidos para textiles y papel, son muy similares a los proporcionados por la SEDESOL lo cual nos hace suponer que son datos validos para realizar el cálculo.

Tabla 26. Porcentaje correspondiente a la composición de los RSU reciclables según datos del INEGI [17].

Tipo de basura	2005	2006	2007	2008	2009
Porcentajes basados en el total de RSU Reciclables.					
Total de residuos sólidos urbanos reciclables	100%	100%	100%	100%	100%
Residuos varios	90%	90%	89%	90%	90%
Papel, cartón, productos de papel	46%	46%	46%	39%	39%
Textiles	5%	5%	5%	4%	4%
Plásticos	19%	19%	19%	31%	31%
Vidrios	20%	20%	20%	17%	17%
Metales	10%	10%	11%	10%	10%
Aluminio	5%	5%	5%	5%	5%
Ferrosos	3%	3%	3%	3%	3%
Otros no ferrosos	2%	2%	2%	2%	2%
Porcentajes basados en el total de RSU Nacional.					
Total de residuos sólidos urbanos reciclables	32%	32%	32%	35%	35%
Residuos varios	29%	29%	29%	32%	32%
Papel, cartón, productos de papel	15%	15%	15%	14%	14%
Textiles	1%	1%	1%	1%	1%
Plásticos	6%	6%	6%	11%	11%
Vidrios	6%	6%	6%	6%	6%
Metales	3%	3%	4%	3%	3%
Aluminio	2%	2%	2%	2%	2%
Ferrosos	1%	1%	1%	1%	1%
Otros no ferrosos	1%	1%	1%	1%	1%

Según la metodología (Ver Anexo A: Metodología) utilizada para el calculo, los componentes que debemos censar en este inventario son: papel y textiles, desechos de jardín, restos de alimentos y madera o paja. Sin embargo, los residuos de alimentos, jardín y madera no están censados por INEGI y los textiles y el papel, se reportan por separado.

Para solucionar esta falta de información, se hacen dos suposiciones, la primera es que dado que los datos proporcionados por la SEDESOL son extremadamente parecidos a los calculados a partir de la estadística de INEGI, estos se validan y podemos utilizar el rubro de residuos de alimentos y jardín de la cual SEDESOL si nos proporciona una cantidad. La segunda suposición es que los residuos de jardín y residuos de comida, tienen casi el mismo contenido de carbono orgánico degradable (COD) al igual que los textiles con la madera, podemos utilizar los datos que se nos proporcionan como residuos de alimentos y residuos de jardín como un solo componente. Y una situación similar entre la madera y el papel.

Disposición

En el estado de Zacatecas, se cuenta con un tiradero a cielo abierto por cada uno de los municipios que lo componen, sin embargo, ninguno de los 58 tiraderos a cielo abierto cumple con la norma NOM-083 por lo que no pueden ser considerados rellenos sanitarios. Con respecto a la incineración, la versión oficial es que no existe tal práctica en el estado, debido a que es ilegal. Aunque sabemos que la incineración de residuos existe, no tenemos datos para calcular sus emisiones por lo que omitiremos este rubro.

Es por lo anterior que se considera que el 100% de la basura que se produce en el estado se dispone en tiraderos a cielo abierto poco profundos (menores de 5 metros) sin supervisión.

Agguas residuales

La información sobre el tratamiento de agua residuales municipales e industriales del estado de Zacatecas, se publica en INEGI de la siguiente manera:

Tabla 27. Población con servicio de alcantarillado en el estado [18].

	2005	2006	2007	2008	2009
% de población con servicio de alcantarillado	84.5	85.5	87.1	87.5	89.1
% de población sin servicio de alcantarillado	15.5	14.5	12.9	12.5	10.9

Tabla 28. Tratamiento de aguas residuales municipales e industriales [19].

	2005	2006	2007	2008
Plantas de tratamiento de aguas municipales	21	25	35	45
Plantas de tratamiento de aguas industriales	8	8	7	10
Capacidad instalada de tratamiento de aguas municipales (lts/s)	286.7	385.9	480.6	545.6
Capacidad instalada de tratamiento de aguas industriales (lts/s)	155.8	155.8	151.8	155.8

Debido a que no se cuenta con información detallada respecto a la composición de las aguas residuales industriales, debemos tomar en consideración que las plantas de tratamiento de las mismas trabajan a su plena capacidad, por lo tanto, suponiendo la capacidad instalada para los años del inventario multiplicada por un factor de 31,536,000.00 segundos por cada año, nos da el total de litros tratados cada año. En consideración de la desinformación para dicho sector, se considera que las aguas residuales industriales pueden ser descritas por los valores por defecto del IPCC.

Resultados

Tomando en consideración las suposiciones planteadas, podemos dar marcha al cálculo de emisiones, para el cual fue utilizado un factor de 0.6 kg CH₄/kg. Dicho factor es necesario según la siguiente fórmula tomada del manual de buenas prácticas del IPCC:

Los resultados y parámetros están ilustrados en la Tabla 29.

Tabla 29. Cálculo de las emisiones de CH₄ y parámetros utilizados en el mismo.

	2005	2006	2007	2008	2009	Unidades
Emisiones	8.62	8.7	8.92	9.02	9.24	Gg/año
RSUT	347	350	359	363	372	Gg/año
RSUF	1	1	1	1	1	
Lo	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	Gg de CH ₄ /Gg de desechos
FCM	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
COD	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	Gg de C/ Gg de RSU
CODF	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	
F	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
R	0	0	0	0	0	Gg/año
OX	0	0	0	0	0	
% Textil/papel	1%	1%	1%	1%	1%	
% Jardín	0%	0%	0%	0%	0%	
% Alimentos	50%	50%	50%	50%	50%	
% Madera	14%	14%	14%	14%	14%	

Las aguas residuales municipales (ARM), por su parte tienen una emisión anual de:

Tabla 30. CH₄ emitido por aguas residuales municipales por año (Gg).

Año	CH ₄ por año (Gg)
2005	7
2006	7
2007	7
2008	8
2009	8
TOTAL	37

Las aguas residuales industriales (ARI) tienen una aportación por emisión de metano igual a:

Tabla 31. Emisión de metano por aguas residuales industriales (Gg).

Año	Litros de ARI's	DBO (g/año)	CH ₄ (Gg)/año
2005	4913308800	7369963200	1.8
2006	4913308800	7369963200	1.8
2007	4787164800	7180747200	1.7
2008	4913308800	7369963200	1.8
2009	4913308800	7369963200	1.8

En total por la categoría de desechos se emitieron en total

Tabla 32. Total de emisiones de CH₄ y CO₂ equivalente por residuos por año (Gg).

Año	RSU	ARM	ARI	Total CH ₄	Total CO ₂ (eq)
2005	8.62	7	1.8	17.42	365.82
2006	8.7	7	1.8	17.5	367.5
2007	8.92	7	1.7	17.62	370.02
2008	9.02	8	1.8	18.82	395.22
2009	9.24	8	1.8	19.04	399.84
TOTAL	8.62	7	1.8	17.42	365.82

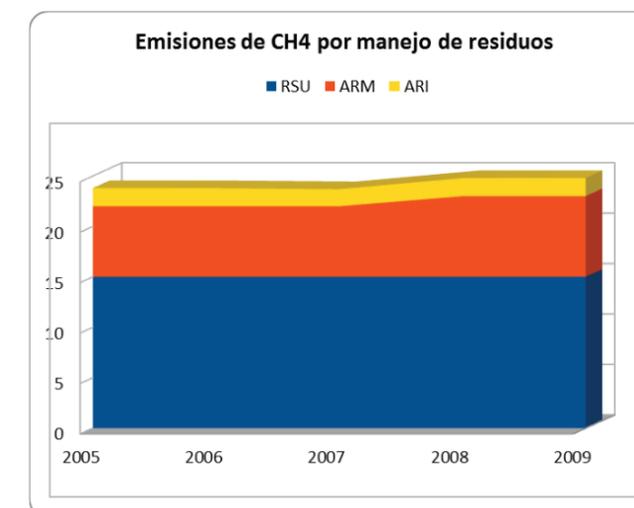


Figura 11. Emisiones de CH₄ por manejo de residuos por año.

Conclusiones

El estado de Zacatecas, tiene una emisión total de GEI's que se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 33. Emisiones totales del inventario de CO₂ equivalente (Gg).

Sector	Energéticos	Industrial	Agricultura	Residuos	Total	Emisiones percapita (ton)
2005	2682.47	39.11	1093.04	365.82	4180.44	3.06
2006	3275.47	35.86	1244.93	367.50	4923.76	3.54
2007	3603.74	35.98	1200.21	370.02	5209.95	3.68
2008	4323.33	292.84	1224.97	395.22	6236.36	4.33
2009	4178.37	261.70	1158.41	399.84	5998.32	4.07
Total	18063.38	665.49	5921.56	1898.40	26548.83	

La evolución de las emisiones totales y las emisiones per cápita, así como su comparación con el PIB, pueden verse ilustradas en la Figura 12 y Figura 13.

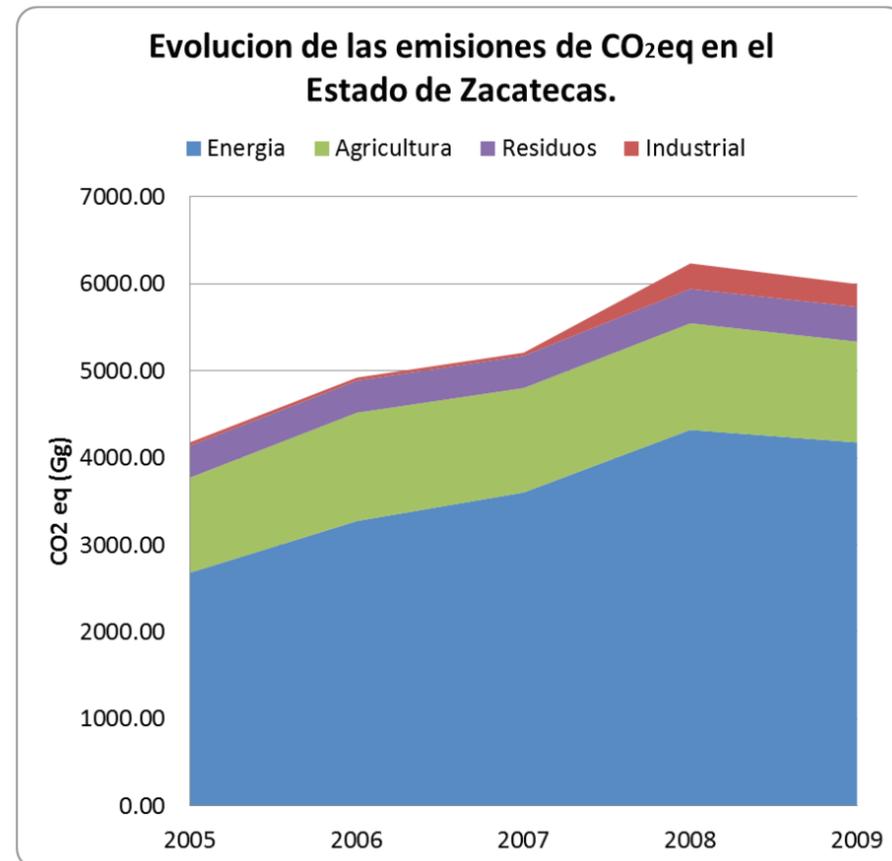


Figura 12. Evolución de las emisiones totales de CO₂eq (Gg).

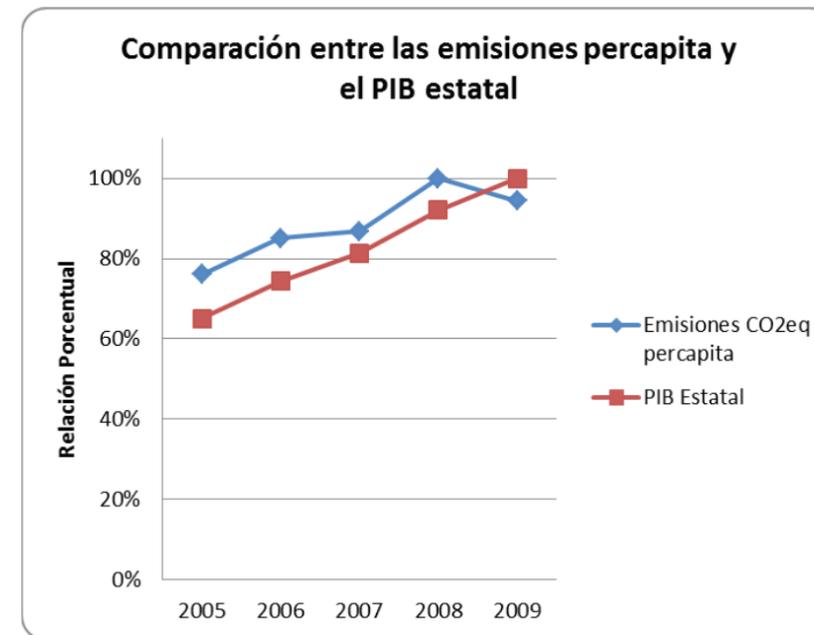


Figura 13. Evolución de las emisiones percapita y su comparación con el PIB estatal.

Finalmente, la tendencia de crecimiento de las emisiones de GEI's nacionales comparada con la tendencia de crecimiento de las emisiones estatales se presenta en la ###. Se observa que la tendencia de crecimiento estatal difiere de la nacional al ser más rápida la estatal.

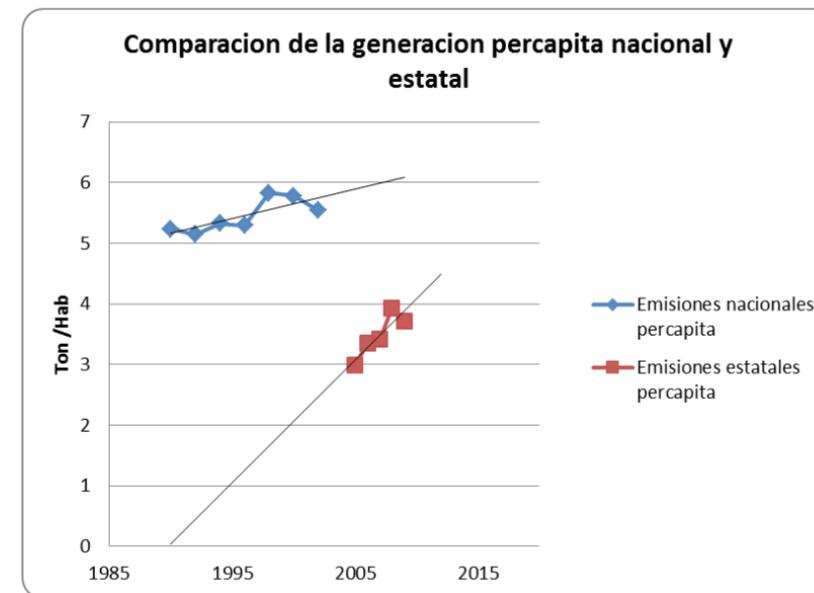


Figura 14. Comparación entre las emisiones percapita nacionales y estatales (Ton por Hab).

En comparación con otros estados, las emisiones de GEI's en el estado de Zacatecas son muy bajas, esto se debe a la baja población del estado y a la poca industrialización del mismo. En relación a las emisiones per cápita, Zacatecas se encuentra por debajo del número nacional, sin embargo, trazando líneas de tendencia para ambas series de datos, es evidente

que la tendencia de la serie de datos del estado de Zacatecas, es mucho más inclinada y crece más rápidamente que la nacional (Figura 14).

El estado de Zacatecas tiene un PIB que representa menos de una unidad del PIB nacional y una cuarta parte del mismo viene del sector primario. Esto nos da una idea de por qué económicamente, el estado tiene números tan pequeños en producción de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, aunque esto no tiene efectos locales, hay que recordar que el consumo de energía eléctrica no fue inventariado debido a que el estado no produce esta energía. Es por eso que parte de los gases que se producen a causa del consumo del estado se quedan en otros estados. El efecto global de esta situación debe ser tomado en consideración por lo que un camino evidente es la planeación de plantas de obtención de energía sustentable, limpia y amigable con el medio ambiente. Debido a la ausencia de grandes caudales en el estado, las opciones obvias son la energía solar y la eólica.

Respecto a la reducción de emisiones, la gran mayoría de las mismas vienen de la combustión de energéticos y en este rubro el combustible más usado es la gasolina, misma que actualmente resulta necesaria para mover la maquinaria social, comercial e industrial del estado. Sin embargo, la mejor eficiencia de los vehículos de Diesel y los relativamente mejores precios de este combustible nos invitan a pensar que una opción para reducir la contaminación por gasolinas sería el uso de vehículos utilitarios de diésel en el caso de empresas privadas y gobierno del estado.

Aunque la real y única solución a los problemas debidos a la emisión de GEI's por quema de combustibles es la educación y la concientización de la sociedad. Programas como "hoy no circula" son parte de un cambio que resultara cada día más necesario para abatir las inmensas emisiones de GEI's y contaminantes debido al tránsito vehicular.

En lo que se refiere al sector industrial, mismo que crece rápidamente, resulta importante que gobierno y sociedad en conjunto vigilen de cerca que las normas para la protección del ambiente se lleven a cabo al pie de la letra.

Respecto a los residuos sólidos urbanos, es imperativo mejorar el control que se tiene actualmente sobre el destino final de los mismos, actualmente el estado no cuenta con rellenos sanitarios y todos los desechos terminan en tiraderos a cielo abierto, mismos que acarrear muchos problemas de salud y que además son un peligro latente debido a la facilidad con la que se pueden llegar a incendiar en los meses más secos y calurosos del año. Este control, sumado a campañas de reciclaje, puede contribuir a mejorar más aun el número de emisiones en el estado de Zacatecas.

Es importante que si bien tenemos un estado con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, mantengamos el crecimiento económico y encontremos los mecanismos económicos, políticos, legislativos o cual sea su naturaleza para mantener nuestro cielo limpio y libre de gases son efectos nocivos para nuestra salud y la salud del planeta.

Anexo A: Metodología

Energía

En base a la información proveída por el balance estatal de energía, se tomó el total de energía consumida para cada año del inventario por combustible y por sector. Posteriormente se utilizó el factor de emisión proporcionado por el IPCC y se calculó directamente la producción de GEI's debido a la combustión de energéticos en el estado siguiendo la metodología establecida en el manual de buenas prácticas del IPCC del 2006.

La fórmula para hacer lo anteriormente descrito es:

$$GEIE=EC*FE$$

dónde:

GEIE son los gases de efecto invernadero emitidos debido a la combustión de energéticos

EC es la energía consumida en el estado

FE es el factor de emisión. Existen tres factores de emisión para cada combustible, uno para el CO2 otro para el CH4 y el ultimo para el N2O. Por lo tanto se realiza este cálculo 3 veces, una para cada GEI. Los factores de emisión se presentan en el Anexo: B

Industria

En el caso de la industria, se cotejó la lista de procesos industriales de interés, contra la lista de procesos industriales existentes en el estado. Posteriormente, se revisó de que ramas se podía obtener información confiable y se eliminaron las ramas industriales de las que no se tenía información.

Para el cemento, cal y piedra caliza, se siguió el manual de directrices del IPCC 1996 [10], que indica que para el cemento, el FE es de 0.4985 ton de CO2 por ton de cemento, para la cal, se tiene 0.79 ton de CO2 por tonelada de cal y finalmente, para la piedra caliza utilizada se tiene 0.44 ton de CO2 por tonelada de piedra caliza utilizada [10].

En el caso del cemento y la cal, debido a que no se contaban con datos confiables sobre la producción de dicha industria, se utilizaron los indicadores económicos del censo económico del 2009, mismos que sirvieron para conocer la cantidad de toneladas producidas en el mismo año en el estado. La formula utilizada fue:

$$TonP = GA / CPT$$

donde:

TonP son las toneladas producidas en el año

GA es el indicador económico de la producción total en miles de pesos.

CPT es el costo por tonelada del producto (se buscaron varios y se promediaron)

De este modo, cuando se tiene las cantidades de cemento y de cal, se multiplican por su factor de emisión y se obtienen las cantidades de CO2 emitidos. De modo que:

$$GEIE=TonP*FE$$

donde:

GEIE son las emisiones de gases de efecto invernadero

TonP son las toneladas producidas y

FE es el factor de emisión.

En base al manual de buenas prácticas del IPCC, el procedimiento para llevar a cabo el inventario de GEI's, en específico para el metano en el sector agrícola, es el descrito en el árbol de decisiones mostrado a continuación.

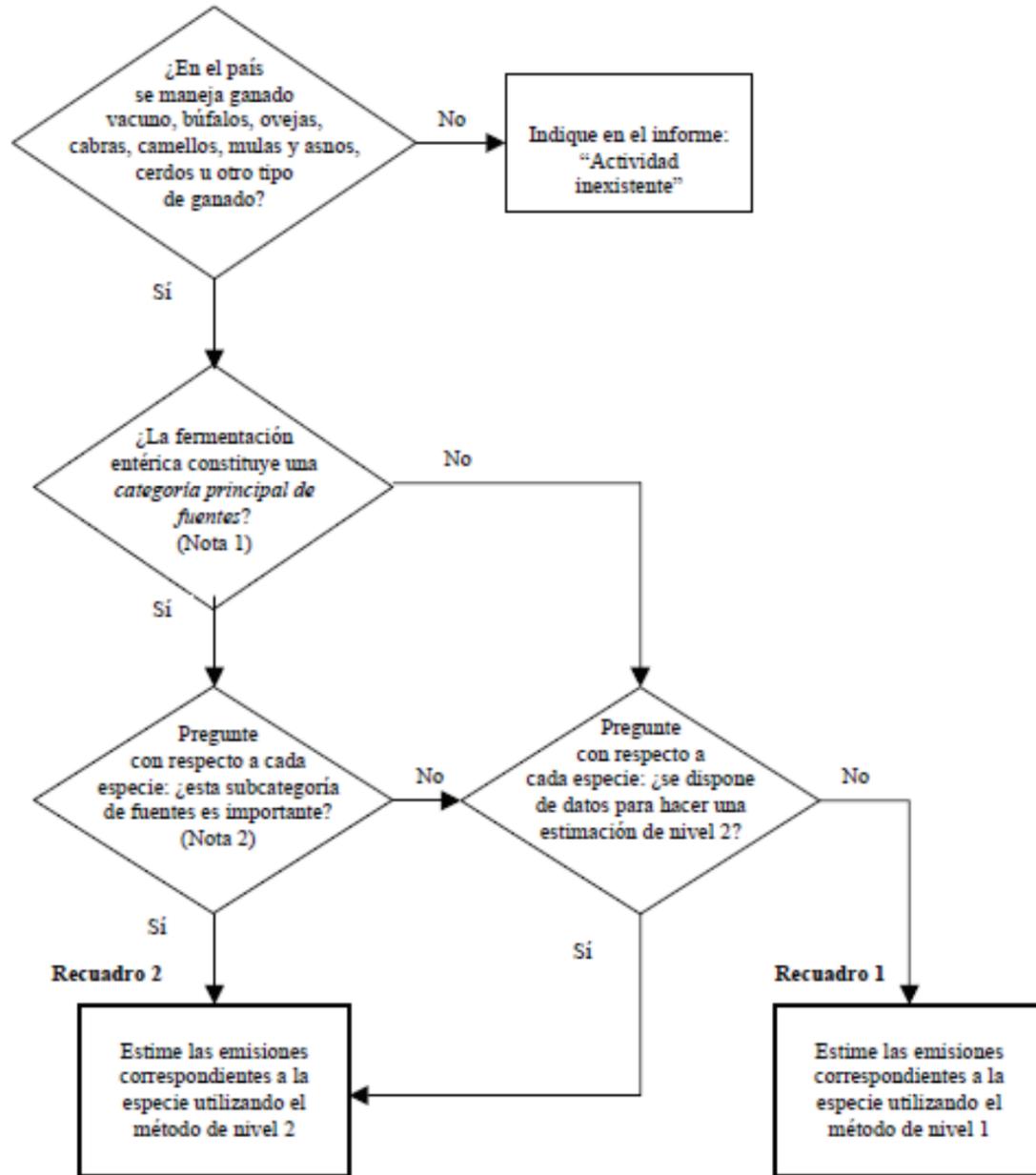


Figura 15. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH4 procedentes de la fermentación entérica.

Se procedió por el método de nivel 1, debido a la ausencia de datos para una estimación del segundo tipo.

Se utilizaron los Factores de emisión por defecto para cada categoría de ganado contenidos en el manual de referencia de las directrices del IPCC, así como los datos proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado, los cuales fueron agrupados en categorías y sub categorías de acuerdo a lo establecido en el manual de buenas prácticas del IPCC. Posteriormente se multiplicó el número de cabezas de ganado por el factor de emisión correspondiente, esto en

base a la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \frac{[(FE)(Población)]}{(10^6 \text{ kg/Gg})}$$

donde:

Emisiones = Emisiones de metano procedentes de la Fermentación entérica, en Gg de CH4/año.

FE = Factor de Emisión correspondiente a una población específica, en Kg/cabeza/año.

Población = Número de animales, en cabezas.

Finalmente, las emisiones totales para cada año fueron calculadas como la suma de las emisiones de las especies de ganado en conjunto, según lo establecido en la ecuación:

$$\text{Emisiones totales de CH4} = \sum E_i$$

donde:

Emisiones totales = Emisiones totales de metano procedentes de la fermentación entérica, en Gg de CH4/año

Índice i: Suma de todas las categorías y sub categorías de ganado

Ei = Emisiones correspondientes a la cantidad i de categorías y sub categorías de ganado

Residuos Sólidos Municipales

El Manual de buenas prácticas del IPCC dice al respecto de los residuos sólidos urbanos que el diagrama de flujo para proceder al inventario de GEI's emitidos por los mismos es:

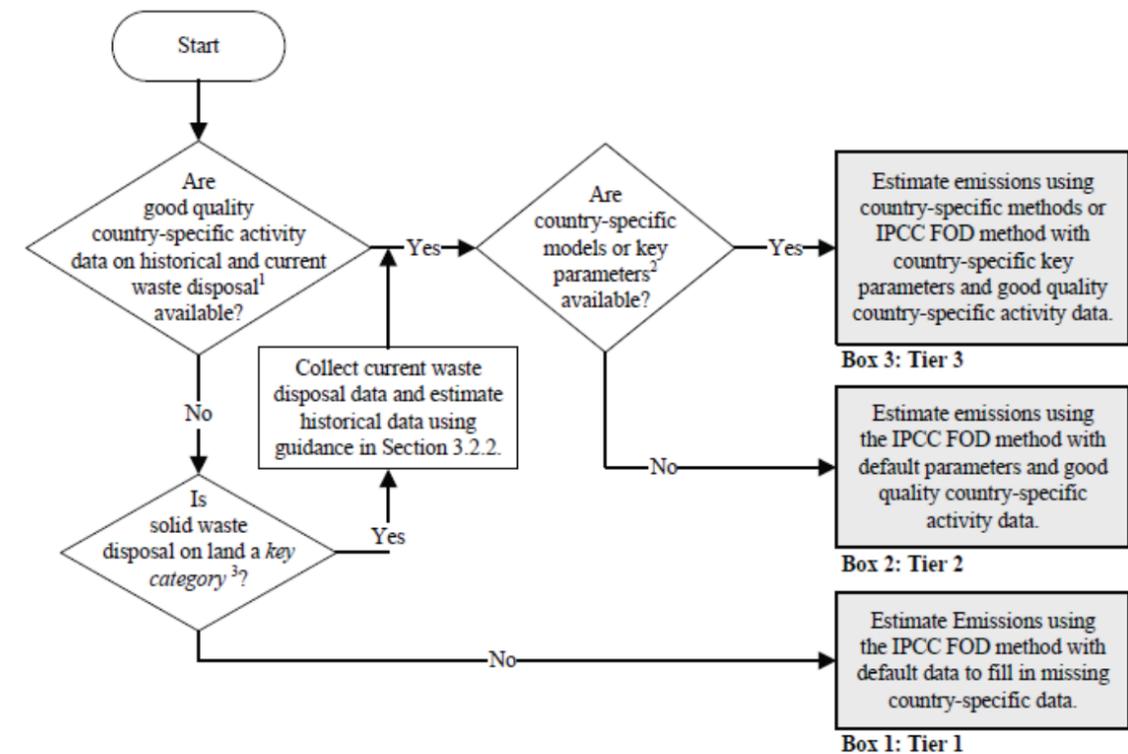


Figura 16. Árbol de decisiones para evaluar las emisiones de los RSU, IPCC 2006.

Donde nosotros seguimos el flujo para utilizar el Tier 1. Para usar este método, debemos utilizar la fórmula:

$$\text{Emisiones} = ((\text{RSUT})(\text{RSUF})(\text{LO}) - \text{R})(1 - \text{OX})$$

donde :

RSUT Es la cantidad de RSU generados (Gg/año)

RSUF Es la fracción de RSU eliminados en VRS

LO Es el potencial de generación de metano [$\text{LO} = (\text{FCM})(\text{COD})(\text{CODF})(\text{F})(6/12)$]

FCM Es el factor de corrección para el metano

COD Es el carbono organico degradable

CODF Es la fracción de carbón organico degradable no asimilada

F Es la fracción por volumen de CH4 en el gas del vertedero

R Es el CH4 Recuperado

OX Es el factor de oxidación.

Aguas residuales municipales

Según el manual de buenas prácticas del IPCC debemos seguir el siguiente árbol de decisiones de la Figura 17

Según este árbol, llegamos al recuadro número 1, donde nos indica utilizar el método del examen. Este método se basa en la ecuación:

$$\text{WM} = \text{P} * \text{D} * \text{SBF} * \text{FE} * \text{FTA} * 365 * 10^{-9}$$

donde:

WM es la emisión anual de CH4 procedente de aguas residuales (Gg)

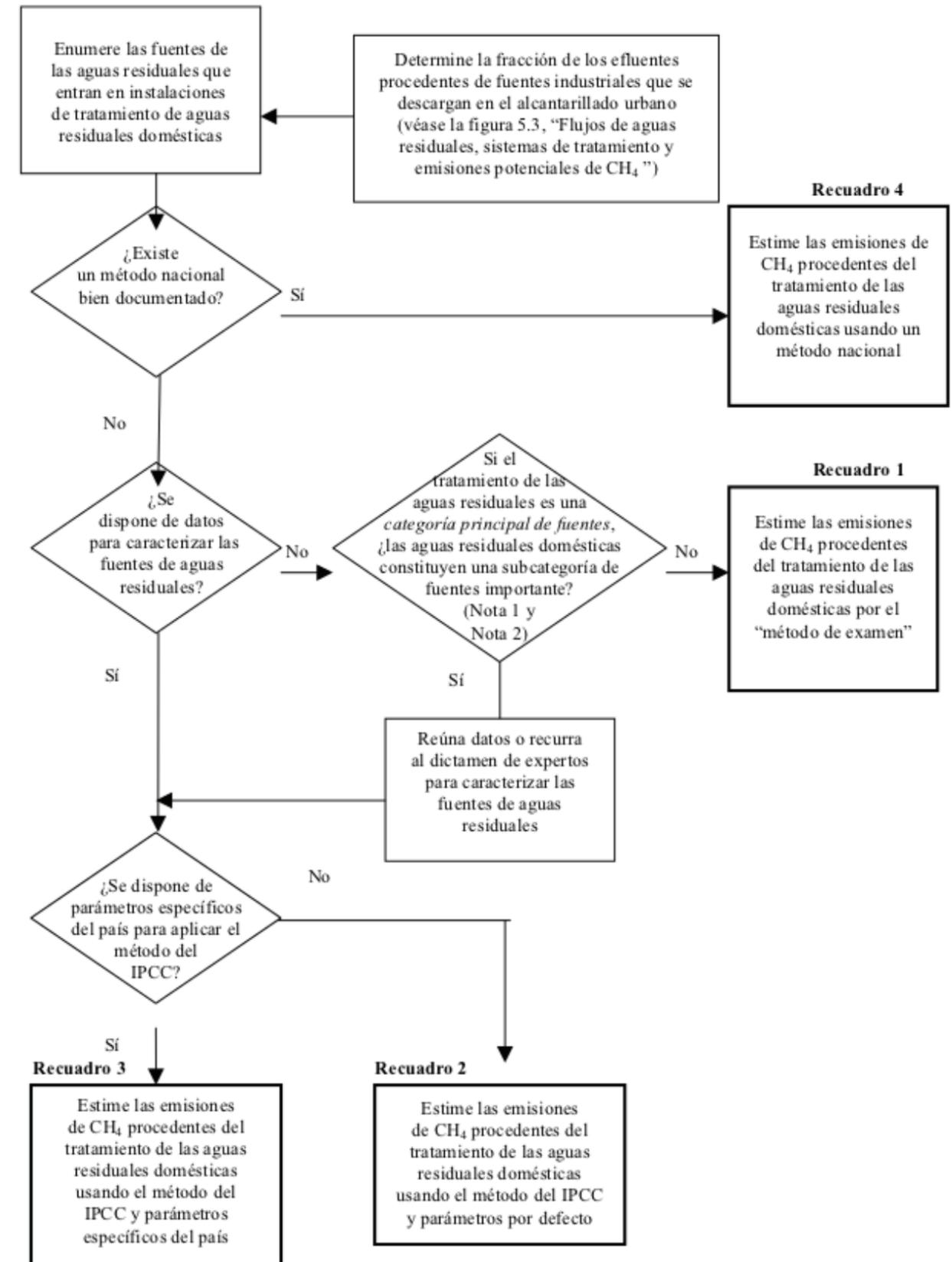
P es la población total. (hab)

D es la carga orgánica en la demanda bioquímica de oxígeno por persona (g de DBO / hab / día), su valor por defecto es de 60.

SBF es la fracción de la DBO que se sedimenta rápidamente, su valor por defecto es 0.5

FE es el factor de emisión (g de CH4 /g de DBO), su valor por defecto es de 0.6

FTA es la fracción de la DBO presente en los lodos que se degrada anaeróbicamente, su valor por defecto es de 0.8



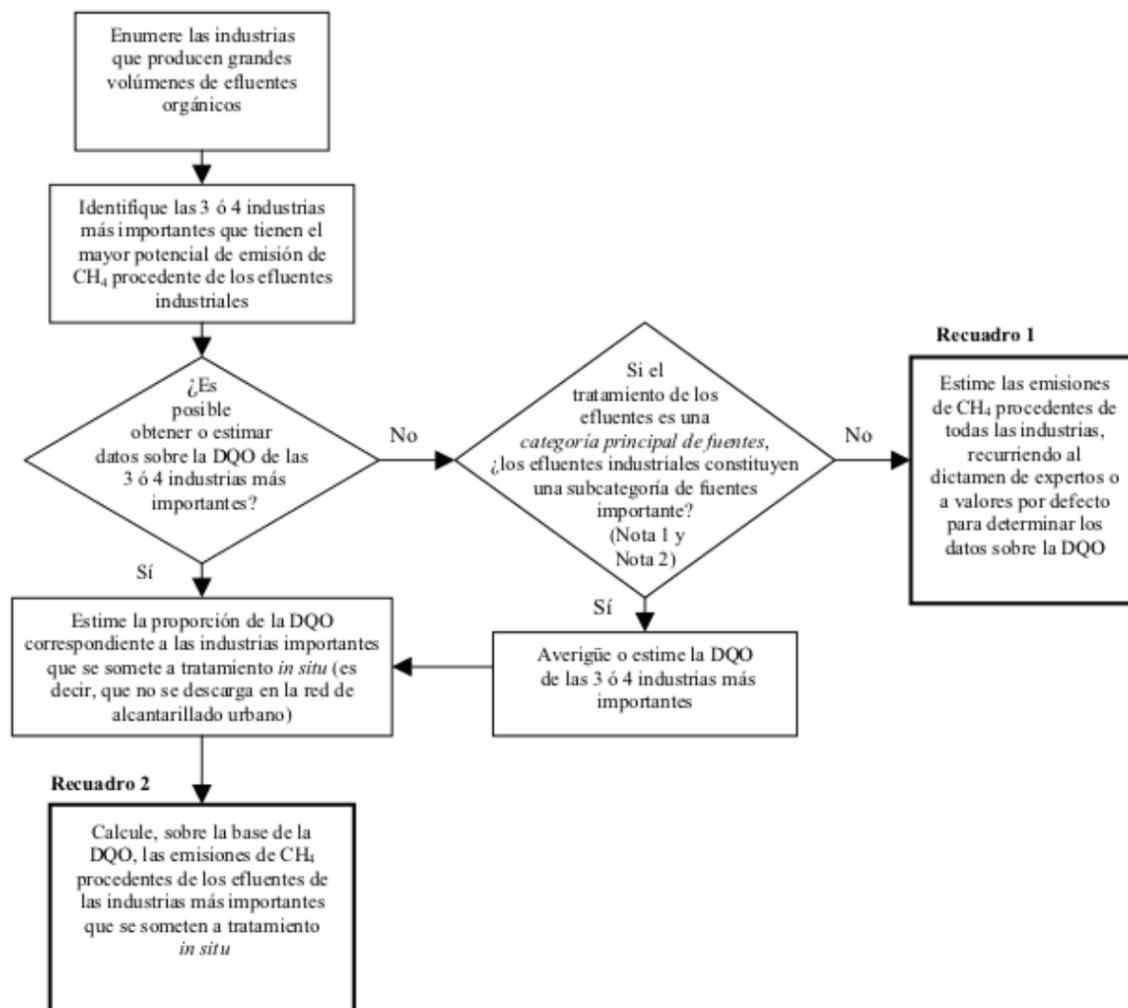
Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales se determinan siguiendo el árbol de decisiones de la Figura 18.

Para calcular las aguas residuales industriales se deben hacer ciertas mediciones en campo o bien, como lo indica el IPCC, se deben asumir datos de producción y utilizar el método del examen, usado previamente en el cálculo de las aguas residuales municipales con algunos cambios.

Considerando la capacidad de procesar aguas residuales industriales (ARI), dato que se obtuvo del INEGI, se puede asumir que por cada litro de ARI que se procesa, se obtiene 1.5 g de DBO. Este dato se obtuvo del IPCC y corresponde a las aguas residuales de la producción de cerveza, actividad económica que domina las industrias en Zacatecas que aportan dichas ARI's.

Con este dato se puede obtener un total anual de DBO y a partir de ahí el proceso es idéntico al cálculo de aguas residuales municipales.



Anexo B: Factores de emisión

A continuación se presentan los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones por combustión de energéticos en el estado. Estos están extraídos del documento del IPCC que especifica las directrices para la realización de los inventarios de gases de efecto invernadero.

El IPCC menciona que para el cálculo del sector energético se consideran solo los combustibles que hayan sido quemados y no utilizados como materia prima. Por esto último, las tablas tomadas de dicho manual, son tituladas "Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria" y cada una de las presentadas representa un sector en particular.

Los factores de emisión aquí mencionados, se complementan con la metodología presentada en el Anexo A para realizar el cálculo de los resultados presentados en el presente inventario.

Figura 18. Árbol de decisiones para evaluar las emisiones de las aguas residuales industriales, IPCC 2006.

CUADRO 2.2
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)

Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	73 300	71 000	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para motor a reacción	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Esquisto bituminoso	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Etano	61 600	56 500	68 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Nafta	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Lubricantes	73 300	71 900	75 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Coque de petróleo	r97 500	82 900	115 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Alimentación a procesos de refinerías	73 300	68 900	76 600	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro petróleo	Gas de refinería	n57 600	48 200	69 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Ceras de parafina	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Espíritu blanco y SBP	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros productos del petróleo	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Antracita	98 300	94 600	101 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Carbón de coque	94 600	87 300	101 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Otro carbón bituminoso	94 600	89 500	99 700	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Carbón sub-bituminoso	96 100	92 800	100 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Lignito	101 000	90 900	115 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Esquisto bituminoso y alquitrán	107 000	90 200	125 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Briquetas de carbón de lignito	97 500	87 300	109 000	n 1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Combustible evidente	97 500	87 300	109 000	1	0,3	3	n 1,5	0,5	5	
Coque	Coque para horno de coque y coque de lignito	r107 000	95 700	119 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5
	Coque de gas	r107 000	95 700	119 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3

CUADRO 2.2 (CONTINUACIÓN)
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)

Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Alquitrán de hulla	n80 700	68 200	95 300	n 1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	n44 400	37 300	54 100	n 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de coque	n44 400	37 300	54 100	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de alto horno	n260 000	219 000	308 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de oxígeno para aceros	n182 000	145 000	202 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Gas natural	56 100	54 300	58 300	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)	n 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1,5	15	
Desechos industriales	n 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1,5	15	
Óleos de desecho	n 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1,5	15	
Turba	106 000	100 000	108 000	n 1	0,3	3	n 1,5	0,5	5	
Biocombustibles sólidos	Madera / Desechos de madera	n112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1,5	15
	Lejía de sulfito (licor negro) ⁽¹⁾	n95 300	80 700	110 000	n 3	1	18	n 2	1	21
	Otra biomasa sólida primaria	n100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1,5	15
Biocombustibles líquidos	Carbón vegetal	n112 000	95 000	132 000	200	70	600	4	1,5	15
	Biogsolina	n70 800	59 800	84 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Biodiésel	n70 800	59 800	84 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Biomasa gaseosa	Otros biocombustibles líquidos	n79 600	67 100	95 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gas de vertedero	n54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de digestión de lodos cloacales	n54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Otros combustibles no fósiles	Otro biogás	n54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Desechos municipales (fracción perteneciente a la biomasa)	n100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1,5	15

⁽¹⁾ Incluye el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde la unidad de combustión de licor negro y el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde el horno de cal de la planta de kraft.
n Indica un factor de emisión nuevo que no estaba presente en las *Directrices del IPCC de 1996*.
r Indica un factor de emisión que se revisó a partir de las *Directrices del IPCC de 1996*.

- [1] D. D. Houghton, *Global climatic change*, Brewer: Brewer Public Library, 2007.
- [2] INEGI, "Información por entidad para el estado de Zacatecas: Territorio," INEGI, [Online]. Available: (2) http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=32. [Accessed Mayo 2011].
- [3] INEGI, "Información por entidad para el estado de Zacatecas: Clima," INEGI, [Online]. Available: (3) <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/clima.aspx?tema=me&e=32>. [Accessed Mayo 2011].
- [4] INEGI, "Información por entidad para el estado de Zacatecas: Economía," INEGI, [Online]. Available: (4) <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Zac/Economia/default.aspx?tema=ME&e=32>. [Accessed Mayo 2011].
- [5] IPCC, "Direct Global Warming Potentials," IPCC, [Online]. Available: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html. [Accessed Septiembre 2012].
- [6] S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Hayama, Japon: IGES, 2006.
- [7] Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Balance Energético del Estado de Zacatecas, Puebla, 2011.
- [8] SENER, Balance Nacional de Energía 2009, México DF: SENER, 2010.
- [9] INEGI, "Sistema de Cuentas Nacionales. Consulta interactiva de datos: PIB," INEGI, [Online]. Available: (7) <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=16859&c=17383&s=est&cl=3#>. [Accessed Mayo 2012].
- [10] H. Jochen and W. Agyeman-Bonsu, Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: Procesos Industriales y Uso de Productos, Hayama, Japon: IGES, 2006.
- [11] Servicio Geológico Mexicano, Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2008, Mexico DF: SGM, 2008.
- [12] Taiwan Trade, "Detalles de la producción de Cal," Taiwan Trade, [Online]. Available: <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=101&fdname=CHEMICAL+MATERIAL&pagename=Planta+de+produccion+de+cal+hidratada+y+cal+viva>. [Accessed Mayo 2012].
- [13] Servicio Geológico Mexicano, Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2010, México DF: SGM, 2010.
- [14] Panel de expertos del IPCC, Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, IPCC, 2000.
- [15] INEGI, "Generación de residuos sólidos urbanos por entidad federativa, 2000 a 2011," INEGI, [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>. [Accessed Septiembre 2012].
- [16] Sedesol, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, "Solicitud de Información," 2012.
- [17] INEGI, "Reciclaje estimado de RSU por composición 2000 al 2011," INEGI, [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb28&c=21654&s=est>. [Accessed Septiembre 2012].
- [18] INEGI, "Porcentaje de alcantarillado," INEGI, [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb107&s=est&c=21391>. [Accessed Mayo 2012].
- [19] INEGI, "Aguas residuales," INEGI, [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb20&s=est&c=21413>. [Accessed Mayo 2012].
- [20] IPCC, "Task force on national greenhouse gas inventories," IPCC, [Online]. Available: (15) <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>. [Accessed Mayo 2012].
- [21] INEGI, "Censo Económico 2009, Consulta interactiva de datos," INEGI. [Online]. [Accessed Mayo 2012].

Figura 1. Concentración de GEI's en la atmosfera por año desde el año 1000 al 2000 [1]	2
Figura 2. División política y fronteras del estado de Zacatecas [2]	5
Figura 3. Distribución de los climas del estado de Zacatecas [3]	6
Figura 4. Energía (TJ) consumida en el estado de Zacatecas entre el 2005 y 2009 [7].	14
Figura 5. Energía (TJ) consumida en el estado de Zacatecas entre el 2005 y 2009 (Combustibles con menor aporte) [7].	15
Figura 6. Relación de actividad entre el PIB y el consumo energético de estado de Zacatecas.	16
Figura 7. Contribución porcentual al gasto energético del estado de cada sector [7].	17
Figura 8. Porcentaje de emisiones correspondientes a cada sector.	18
Figura 9. Evolución de las emisiones de CO2 equivalente por sector y por año.	19
Figura 10. Total de emisiones anuales por combustible.	20
Figura 11. Emisiones de CH4 por manejo de residuos por año.	34
Figura 12. Evolución de las emisiones totales de CO2eq (Gg).	35
Figura 13. Evolución de las emisiones percapita y su comparación con el PIB estatal.	36
Figura 14. Comparación entre las emisiones percapita nacionales y estatales (Ton por Hab).	37
Figura 15. Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH4 procedentes de la fermentación entérica.	41
Figura 16. Árbol de decisiones para evaluar las emisiones de los RSU, IPCC 2006.	43
Figura 17. Árbol de decisiones para evaluar las emisiones de las aguas residuales municipales, IPCC 2006.	45
Figura 18. Árbol de decisiones para evaluar las emisiones de las aguas residuales industriales, IPCC 2006.	47

Tabla 1. Tipos de clima existentes en el estado de Zacatecas.	7
Tabla 2. Producción minera del estado de Zacatecas [4]	9
Tabla 3. PIB del estado de Zacatecas [4].	9
Tabla 4. Número de habitantes por municipio en el estado de Zacatecas (2)	10
Tabla 5. Categorías del IPCC para el cálculo de emisiones en energía [6]	12
Tabla 6. Cantidad de combustible utilizada en el estado de Zacatecas por año [7].	13
Tabla 7. Poder calorífico para los combustibles utilizados [8].	13
Tabla 8. Cantidad de energía por combustible (TJ) que se gastó en el estado de Zacatecas por año [7].	14
Tabla 9. PIB Nacional, PIB Estatal y relación porcentual entre ellos [9].	15

Tabla 10. Consumo porcentual de energía por año y por sector [7].	16
Tabla 11. . Cantidad en Gg de CO2 equivalente emitido a la atmósfera por sector por año.	17
Tabla 12. Emisiones de gases de efecto invernadero por combustible por año. (Gg)	18
Tabla 13. Procesos industriales que son de interés para el inventario de GEI's.	21
Tabla 14. Industrias que se toman en cuenta para el inventario de GEI's de Zacatecas.	22
Tabla 15. Producción de piedra caliza y emisiones derivadas [11] y [13].	23
Tabla 16. Emisiones de CO2 del sector industrial en el estado de Zacatecas para el año 2009 (Gg)	24
Tabla 17. Censo de ganado proporcionado por la SEDAGRO. Cantidad de cabezas.	25
Tabla 18. Factores de emisión para ganadería por tipo de animal publicados por la IPCC para países en vías de desarrollo [9].	26
Tabla 19. Emisiones de CH4 por año y por especie para la ganadería (Gg CH4).	26
Tabla 20. Cantidad de CO2 equivalente emitido a la atmósfera en los años del inventario debido a las existencias de ganado en el estado de Zacatecas.	26
Tabla 21. Generación per cápita de residuos sólidos urbanos para el estado de Zacatecas [15].	29
Tabla 22. Composición de la basura en Zacatecas según los promedios nacionales [16].	29
Tabla 23. Generación nacional de RSU reciclables [17].	30
Tabla 24. Porcentaje correspondiente a la composición de los RSU reciclables según datos del INEGI [17].	30
Tabla 25. Población con servicio de alcantarillado en el estado [18].	32
Tabla 26. Tratamiento de aguas residuales municipales e industriales [19].	32
Tabla 27. Cálculo de las emisiones de CH4 y parámetros utilizados en el mismo.	32
Tabla 28. CH4 emitido por aguas residuales municipales por año (Gg).	32
Tabla 29. Emisión de metano por aguas residuales industriales (Gg).	33
Tabla 30. Total de emisiones de CH4 y CO2 equivalente por residuos por año (Gg).	33
Tabla 31. Emisiones totales del inventario de CO2 equivalente (Gg).	35

