



PROGRAMA ESTATAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE DURANGO PEACC-DURANGO



Victoria de Durango, Noviembre 2012

MENSAJE DEL C. GOBERNADOR



El Cambio Climático es uno de los grandes retos que enfrenta la humanidad actual. La variabilidad climática natural ha sido alterada como una consecuencia del consumo de combustibles fósiles debido al aumento en la producción de energía eléctrica, uso de transporte y procesos industriales, entre otros sectores, que generan Gases de Efecto Invernadero (GEI), los que contribuyen en el Calentamiento Global.

La pérdida de sumideros naturales, lagos y bosques, es una de las principales causas de la alteración de la concentración de GEI en la atmósfera. Esto tiene como resultado un cambio en el equilibrio térmico, provocando que eventos climatológicos extremos se presenten con una mayor intensidad y frecuencia.

El Estado de Durango por tener la más grande reserva de bosque en México, juega un papel clave en su protección y conservación; este sector es considerado de vital importancia, debido a la fijación de carbono, con lo que coadyuva a la disminución del Bióxido de Carbono.

En congruencia y coordinación con los programas nacionales, el Gobierno del Estado de Durango vinculado con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, a partir del año 2010 desarrolló el *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático*. En dicho programa se integra la base científica de las emisiones de GEI estatales, escenarios probabilísticos de las condiciones climáticas futuras y estudios de vulnerabilidad sectorial. Plantea iniciativas de mitigación con el propósito de reducir la generación de emisiones a corto, mediano y largo plazo; además de proponer acciones de adaptación para reducir la vulnerabilidad de los sectores productivos, económicos y sociales ante la variabilidad climática.

La protección, restauración y prevención ambiental abre una brecha para comenzar acciones que nos permitan vivir una mejor calidad de vida y al mismo tiempo convertirnos en un Estado sustentable. Hoy tenemos en nuestras manos la oportunidad de reducir nuestra huella de carbono y preservar los recursos naturales que permitan a las generaciones futuras vivir en un planeta mejor.

C.P. JORGE HERRERA CALDERA
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE DURANGO

C.P. JORGE HERRERA CALDERA
Gobernador Constitucional del Estado de Durango

ING. JESÚS SOTO RODRÍGUEZ
Secretario de Recursos Naturales y Medio Ambiente

FINANCIAMIENTO Y RECONOCIMIENTOS

Este proyecto (Claves: contrato D.M.AMB/No. 003/10 del Anexo 34, Rubro 16 y 2009-DGO-CO2-116344) fue financiado por el Gobierno del Estado de Durango, a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNyMA) y mediante el programa de Fondos Mixtos del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCyTED).

Especial mención al Instituto Nacional de Ecología (INE), por la capacitación impartida y la revisión técnica del IEEGEI-Durango y del Durango. Particularmente a la Bióloga Julia Martínez Fernández, coordinadora del Programa de Cambio Climático, y a su equipo técnico del INE por el apoyo que siempre nos brindaron.

Se reconoce el apoyo desinteresado de los siguientes capacitadores: CEDAN-ITESM-Embajada Británica, Ing. Luis Alberto Conde Álvarez, Dr. Víctor Orlando Magaña Rueda, Dr. José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz, M.C. Uriel Bando Murrieta, M.C. René D. Martínez Bravo, Dra. Ivonne Dalila Gómez Cabrera, M.C Eduardo Juárez León, Dr. Rigoberto García Ochoa y Dr. Jorge Tovilla Cao-Romero.

CRÉDITOS

Coordinador General

Dr. Joaquín Pinto Espinoza

Coordinador Inventario de Emisiones GEI

Dra. María Adriana Martínez Prado

Coordinador Técnico

Dr. Armando López Santos

INVENTARIO DE EMISIONES Y MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Dr. Joaquín Pinto Espinoza Dra. María Adriana Martínez Prado M.C. Juan Fernando Barraza Pérez Ing. Erika Cabral Orozco Ing. Cesar Gamaliel Soto Soriano Magali Ivón Estrada González	Instituto Tecnológico de Durango (ITD)
Dr. Armando López Santos M.C. Palmira Bueno Hurtado Ing. Ambrocio Viera Briones Adriana Cruz Martínez	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo (URUZA)
Uziel Torres Siqueiros	Instituto Tecnológico del Salto (ITS)
Dr. José Luís González Barrios Dr. Luís Manuel Valenzuela Núñez	Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA- INIFAP)
M. C. Darío Cisneros Arreola Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo M.C. José Bernardo Montoya Ayón M.C. Marcelo Hernández Antuna Ing. Noé Fernández Loera Lic. Sandra Ivonn Ávila Vázquez	Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana (ITVG)
M. C. Elizabeth Medina Herrera Dr. Roberto Valencia Vázquez Dra. María Elena Pérez López M.C. Guadalupe Vicencio de la Rosa	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral regional. Unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN)
Dra. Brenda Xiomara Ochoa Salazar	Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango
M.C. Raúl Espinoza Bretado	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)

ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y DE EMISIONES DE GEI

Dr. Joaquín Pinto Espinoza Dra. María Adriana Martínez Prado M.C. Juan Fernando Barraza Pérez Ing. Cesar Gamaliel Soto Soriano	Instituto Tecnológico de Durango (ITD)
Dr. Armando López Santos M.C. Gerardo Esquivel Arriaga Ing. Ambrocio Viera Briones	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo (URUZA)
Dra. Merit Cisneros Arreola M.C. Ramiro Villanueva	Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana (ITVG)
M.C. Víctor Hugo Randeles Reyes	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

Dr. Joaquín Pinto Espinoza Dra. María Adriana Martínez Prado	Instituto Tecnológico de Durango (ITD)
Dr. Armando López Santos	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo (URUZA)
M. C. Darío Cisneros Arreola Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo Cinthya Christian Maldonado Vargas	Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana (ITVG)
M.C. Gerardo Esquivel Arriaga Dr. Ignacio Sánchez Cohen	Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA- INIFAP)

Revisión Técnica del Inventario de Emisiones de GEI

M.C. Uriel Bando Murrieta

Compilación e Integración del Documento

Dr. Joaquín Pinto Espinoza
Dra. María Adriana Martínez Prado
Dr. Armando López Santos

ÍNDICE GENERAL

		Página
	MENSAJE DEL C. GOBERNADOR	ii
	CRÉDITOS	iii
	FINANCIAMIENTO Y RECONOCIMIENTOS	v
	ÍNDICE GENERAL	vi
	ÍNDICE DE FIGURAS	xii
	ÍNDICE DE TABLAS	xvii
	RESUMEN EJECUTIVO	19
	ARREGLOS INSTITUCIONALES	22
I	INTRODUCCIÓN	24
	1.1 Caracterización ecológico-geográfica del estado de Durango	25
	1.1.1 Ubicación geográfica	25
	1.1.2 Fisiografía	26
	1.1.3 Clima	27
	1.1.4 Recursos naturales	31
	1.2 Caracterización socioeconómica del estado de Durango	40
	1.2.1 Población	40
	1.2.2 Economía	43
	1.3 Problemática del Cambio Climático	45
II	INVENTARIO ESTATAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE DURANGO (IEEGEI-Durango)	49
	2.1 Metodología de cálculo de emisiones de GEI	50
	2.2 Emisiones de GEI por categorías del estado de Durango	52
	2.3 Emisiones de GEI totales del estado de Durango	56
III	ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y DE EMISIONES DE GEI	60
	3.1 Introducción	61
	3.2 Escenarios climáticos	64
	3.2.1 Contexto de la modelación climática	64
	3.2.2 Metodologías	65
	3.2.2.1 Técnica de reducción de escala	65
	3.2.2.2 Herramientas de reducción de escala	66
	3.2.2.3 Análisis estadístico y generación de modelos de superficie	71
	3.2.2.4 Análisis estadístico. La modelación con LARS-WG y su fundamento	72

	3.2.2.5	Generación de mapas de superficie. Técnicas de interpolación	73
	3.2.2.6	Modelos seleccionados para el proceso de interpolación	77
	3.2.2.7	Índice de impacto del Cambio Climático (IICC)	78
	3.3	Escenarios climáticos. Análisis y discusión de resultados	80
	3.3.1	Temperatura máxima (Tmax). Escenario histórico vs Escenarios A2	80
	3.3.2	Temperatura mínima (Tmin). Escenario histórico vs Escenarios A2	84
	3.3.3	Precipitación pluvial máxima en 24 h (Pp). Escenario histórico vs Escenarios A2	90
	3.4	Escenarios de emisiones de GEI futuros (LEAP)	96
	3.4.1	Metodologías	97
	3.4.1.1	Carpeta de consideraciones claves	98
	3.4.1.2	Carpeta de demanda	102
	3.4.2	Escenario BAU (Business As Usual)	106
	3.4.3	Escenarios de demanda energética futura	107
	3.4.4	Escenarios BAU de emisiones de GEI futuros	109
	3.4.5	Escenarios de mitigación	111
IV		VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	112
	4.1	Introducción	113
	4.2	Análisis de vulnerabilidad del estado de Durango	114
	4.3	Análisis de los escenarios climáticos y de demanda energética futuros	121
	4.3.1	Escenarios climáticos	122
	4.3.1.1	Escenarios climáticos de Tmax, Tmin y Pp extremas	123
	4.3.1.2	Escenarios climáticos Tmax, Tmin y Pp media anual	125
	4.3.2	Escenarios de demanda energética	126
	4.4	Resultados de los estudios de vulnerabilidad sectorial	126
	4.4.1	Vulnerabilidad del sector USCUSyS por erosión hídrica y eólica	126
	4.4.2	Vulnerabilidad del sector Agrícola	127
	4.4.2.1	Vulnerabilidad del Maíz de temporal por estrés hídrico	127
	4.4.2.2	Vulnerabilidad del Frijol de temporal por estrés hídrico	128
	4.4.2.3	Vulnerabilidad de la Avena Forrajera por estrés hídrico	129
	4.5	Análisis de la demanda de Energía Eléctrica en el subsector Residencial	130
V		ESTUDIOS DE LA VULNERABILIDAD SECTORIAL AL CAMBIO CLIMÁTICO	132

5.1	Evaluación de la vulnerabilidad de los suelos del estado de Durango bajo condiciones de Cambio Climático	134
5.1.1	Resumen de vulnerabilidad de suelos	136
5.1.2	Introducción de la vulnerabilidad de suelos	137
5.1.3	Antecedentes del estudio	138
5.1.3.1	Vulnerabilidad del suelo	138
5.1.3.2	Estudios de vulnerabilidad: valoraciones y métodos	140
5.1.4	Marco metodológico empleado	143
5.1.4.1	Unidad básica de estudio	143
5.1.4.2	Enfoque de vulnerabilidad	144
5.1.5	Técnicas de análisis y herramientas de trabajo	145
5.1.5.1	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)	145
5.1.5.2	Evaluación multicriterio	146
5.1.5.3	Generación de índices	146
5.1.5.4	Variables y fuente de datos empleados	148
5.1.6	Análisis de exposición, sensibilidad, adaptación y vulnerabilidad al Cambio Climático	149
5.1.6.1	Exposición al Cambio Climático	151
5.1.6.2	Fisiografía: topoformas y vegetación	154
5.1.6.3	Lluvia y escurrimientos superficiales	158
5.1.6.4	Sensibilidad al Cambio Climático	160
5.1.6.5	Capacidad de adaptación al Cambio Climático	171
5.1.7	Resultados de la vulnerabilidad de los suelos de Durango	181
5.1.8	Conclusiones de la vulnerabilidad de los suelos	184
5.2	Evaluación de la vulnerabilidad del Maíz de temporal del estado de Durango bajo condiciones de Cambio Climático	186
5.2.1	Resumen de la vulnerabilidad del Maíz	188
5.2.2	Introducción de la vulnerabilidad del Maíz	189
5.2.3	Antecedentes del estudio de la vulnerabilidad del Maíz	191
5.2.3.1	La agricultura de temporal en el estado de Durango	195
5.2.4	Marco metodológico empleado	197
5.2.5	Variables y fuentes de datos empleados	199
5.2.5.1	Exposición al Cambio Climático	200
5.2.5.2	Sensibilidad y vulnerabilidad al Cambio Climático	201
5.2.6	Análisis comparativo de temperatura y precipitación observada y proyecciones regionalizadas en el estado de Durango	202
5.2.6.1	Temperatura máxima	203
5.2.6.2	Temperatura mínima	206

5.2.6.3	Precipitación	209
5.2.7	Rendimiento de Maíz	213
5.2.7	Conclusiones de vulnerabilidad del Maíz	217
5.3	Evaluación de la vulnerabilidad del Frijol de temporal del estado de Durango bajo condiciones de Cambio Climático	219
5.3.1	Resumen de la vulnerabilidad del Frijol	221
5.3.2	Introducción de la vulnerabilidad del Frijol	222
5.3.3	Marco Teórico	223
5.3.3.1	Importancia de la Agricultura	223
5.3.3.2	Importancia del cultivo del Frijol	224
5.3.3.3	El Frijol en el ámbito nacional	225
5.3.3.4	El Frijol en el ámbito estatal	226
5.3.4	El Calentamiento Global	228
5.3.4.1	El efecto invernadero	228
5.3.4.2	Sensibilidad al Cambio Climático	228
5.3.4.3	Estudios de vulnerabilidad	230
5.3.4.4	Modelos de Circulación General (MCG)	231
5.3.5	Metodología	232
5.3.5.1	Principales ecosistemas	233
5.3.5.2	Elaboración de mapas de escenarios A2	234
5.3.5.3	Modelación del cultivo de Frijol	235
5.3.6	Resultados de la vulnerabilidad del Frijol	236
5.3.6.1	Anomalía de las variables climáticas	236
5.3.6.2	Rendimiento de Frijol en condiciones de temporal bajo escenarios de Cambio Climático	237
5.3.6.3	Rendimiento de Frijol de temporal por municipio del estado de Durango periodo 2003-2010	239
5.3.6.4	Escenarios para rendimiento de Frijol de temporal en Durango	240
5.3.7	Conclusiones de vulnerabilidad del Frijol	246
5.4	Evaluación de la vulnerabilidad de la Avena Forrajera del estado de Durango bajo condiciones de Cambio Climático	248
5.4.1	Resumen de la vulnerabilidad de la Avena	250
5.4.2	Introducción de la vulnerabilidad de la Avena	251
5.4.3	Modelación y simulación de procesos	253
5.4.3.1	Modelación de cultivos	253
5.4.4	Vulnerabilidad climática	255
5.4.5	La Agricultura de temporal del estado de Durango	256

	5.4.6	Marco metodológico	259
	5.4.7	Situación actual y escenarios futuros de temperatura y precipitación en el estado de Durango	261
	5.4.7.1	Temperatura máxima	261
	5.4.7.2	Temperatura mínima	262
	5.4.7.3	Precipitación	263
	5.4.8	Situación actual y escenarios futuros de rendimiento de Avena Forrajera en condiciones de temporal	264
	5.4.9	Conclusiones de la vulnerabilidad de la Avena Forrajera	270
VI		MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GEI	272
	6.1	Contexto nacional e internacional de emisiones de GEI	273
	6.2	Mitigación de emisiones de GEI	275
	6.3	Análisis de la proyección de emisiones de GEI y su mitigación para el estado de Durango	277
	6.4	Medidas de mitigación de emisiones de GEI propuestas por categoría	279
	6.4.1	Acciones de mitigación: Categoría ENERGÍA	279
	6.4.1.1	Fuente clave de emisión: <u>Transporte</u>	279
	6.4.1.2	Fuente clave de emisión: <u>Generación y uso de Energía Eléctrica</u>	281
	6.4.1.3	Fuente clave de emisión: <u>Industria de la Manufactura y Construcción</u>	282
	6.4.2	Acciones de mitigación: Categoría AGRICULTURA	283
	6.4.2.1	Fuente clave de emisión: <u>Agrícola</u>	283
	6.4.2.2	Fuente clave de emisión: <u>Ganadería</u>	284
	6.4.3	Acciones de mitigación: Categoría DESECHOS	285
	6.4.4	Acciones de mitigación: Categoría PROCESOS INDUSTRIALES Y SOLVENTES	287
	6.4.5	Acciones de mitigación: Categoría USCUSyS	287
	6.4.5.1	Fuente clave de emisión: <u>Bosques</u>	287
	6.4.5.2	Fuente clave de emisión: <u>Reservas Naturales</u>	288
	6.5	Análisis de la propuesta de actualización de parque vehicular particular, como medida de mitigación de emisiones de GEI, para el sector Transporte	289
VII		ACCIONES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	292
	7.1	Retos y oportunidades de acciones de adaptación al Cambio Climático	293
	7.2	Acciones de adaptación al Cambio Climático propuestas por sectores	295

	7.2.1	Acciones de adaptación: Sector HÍDRICO	296
	7.2.2	Acciones de adaptación: Sector AGRICULTURA	298
	7.2.3	Acciones de adaptación: Sector USCUSyS	301
	7.2.4	Acciones de adaptación: Sector SALUD	302
	7.2.5	Acciones de adaptación: Sector SOCIAL	303
VIII		CONSIDERACIONES FINALES Y LOGROS DEL PROYECTO	306
	8.1	Implementación de medidas de mitigación y acciones de adaptación	307
	8.1.1	Consideraciones iniciales	307
	8.1.2	Nuestra visión del PEACC-Durango	307
	8.1.3	El Reto: ¿Cómo empezar?	308
	8.1.4	Tres ideas básicas para empezar	309
	8.2	Recomendaciones y tareas pendientes	310
	8.3	Resumen de logros del proyecto	311
		REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	314
		ANEXO 3-A Matriz de resultados	335
		ANEXO 3-B Mapas climatológicos	337
		ANEXO 3-C PDF-BoxPlot Tmax-Dgo	355
		ANEXO 3-D PDF-BoxPlot Tmin-Dgo	406
		ANEXO 3-E PDF-BoxPlot Tmax-Dgo	457
		ANEXO 5.1-A Mapas	508
		ANEXO 5.1-B Suelos	530
		ANEXO 5.1-C Validación	540
		ANEXO 5.1-D Metodología	549
		ANEXOS SECCIÓN 5.2	556
		ANEXOS SECCIÓN 5.4	569

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Ubicación geográfica y colindancias del estado de Durango	25
1.2	Fisiografía del estado de Durango	26
1.3	Distribución de climas en el estado de Durango	29
1.4	Tipos de suelo del estado de Durango	32
1.5	Uso de suelo y vegetación del estado de Durango	34
1.6	Regiones hidrológicas y ríos del estado de Durango	35
1.7	Reserva de la biósfera: La Michilía, Durango	39
1.8	Reserva de la biósfera: Mapimí, Durango	39
1.9	Distribución poblacional en los municipios del estado de Durango con más de 10,000 habitantes	41
1.10	Crecimiento poblacional del estado de Durango	42
1.11	Cambio decadal de la población por genero de 1995-2010 en el estado de Durango	42
1.12	Crecimiento del PIB del estado de Durango	43
2.1	Consumo de energéticos en el 2005 para el estado de Durango (estos valores no incluyen energía eléctrica)	53
2.2	Emisión anual de GEI para la categoría Energía de Durango	53
2.3	Emisión anual de GEI para la categoría PI&S de Durango	54
2.4	Emisión anual de GEI para la categoría Agricultura de Durango	55
2.5	Emisión-captura anual de la categoría USCUSyS de Durango	55
2.6	Emisión anual de GEI para la categoría Desechos de Durango	56
2.7	Emisiones de GEI por categoría para el estado de Durango, 2005	58
2.8	Emisiones de GEI anuales para el estado de Durango	58
3.1	Escenarios de emisiones de GEI entre 2000-2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales de mitigación	62
3.2	Distribución espacial de 40 nodos que corresponden a Durango de la malla de ECRM con equidistancias de 0.5° (izq.); y 29 estaciones meteorológicas seleccionadas y su relación con cada nodo de la malla (der.)	67
3.3	Diagrama de flujo para el control de calidad selección de las EM-SMN para el estudio de escenarios climáticos futuros	70
3.4	Diagrama de flujo para el análisis de la información climática procesada para la evaluación del impacto del Cambio Climático en el escenario futuro A2	74

3.5	Índice de impacto de Cambio Climático (IICC) para los escenarios futuros (A2-20, A2-50, A2-80), para la Temperatura máxima extrema	81
3.6	Comparación de escenarios de Temperatura máxima extrema en °C para el estado de Durango	82
3.7	Histograma de distribución de probabilidad (superior) y gráfico Box-Plot (inferior), para comparar los cambios entre el escenario histórico y futuros para la variable Tmax de la EM-SMN (10094), Guanaceví, Guanaceví (-105.97 ° Long Oeste, 25.93 ° Lat Norte)	84
3.8	Índice de Impacto de Cambio Climático (IICC) para los escenarios futuros (A2-20, A2-50, A2-80), para la Temperatura mínima extrema	86
3.9	Comparación de escenarios de Temperatura mínima extrema en °C para el estado de Durango	87
3.10	Histograma de distribución de probabilidad (superior) y gráfico Box-Plot (inferior), para comparar los cambios entre el escenario histórico y futuros para la variable Tmin de la EM-SMN (10047), Narciso Mendoza, Poanas (-103-93° Long Oeste, 24.02° Lat Norte)	89
3.11	Índice de Impacto de Cambio Climático (IICC) para los escenarios futuros (A2-20, A2-50, A2-80), para la precipitación máxima en 24 h	91
3.12	Comparación de escenarios de Precipitación máxima en 24 horas para el estado de Durango	93
3.13	Histograma de distribución de probabilidad (superior) y gráfico Box-Plot (inferior), para comparar los cambios entre el escenario histórico y futuro para la variable Pp en 24 h de la EM-SMN (10024), El Saltito, Nombre de Dios (-104.37° Long Oeste, 24° Lat Norte)	95
3.14	Escenario de demanda energética del estado de Durango por energético empleado	108
3.15	Escenario de demanda energética del estado de Durango	109
3.16	Escenario de potencial de calentamiento por combustible	110
3.17	Escenario de potencial de calentamiento por sector	110
3.18	Escenario de mitigación mediante sustitución de automóvil sedan por transporte público eficiente	111
4.1	Evaluación del índice de riesgo/beneficio por sectores	120
4.2	Evaluación del índice de riesgo/beneficio por amenazas	120
4.3	Escenario de demanda de EE en el subsector Residencial del estado de Durango	131

5.1.1	Cuencas hidrológicas del estado de Durango	144
5.1.2	Esquema teórico para el análisis de la erosión del suelo	145
5.1.3	Integración territorial por Municipio y Región Hidrológica (RH) de Durango y superficie en km ² (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 1)	150
5.1.4	Densidad de población en el estado de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 2)	151
5.1.5	Mapa de distribución de seis grupos de climas y Regiones Hidrológicas (RH) en el estado de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 3)	153
5.1.6	Rasgos fisiográficos y límites de las Regiones Hidrológicas que conforman el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 4)	155
5.1.7	Distribución espacial de la vegetación por Región Hidrológica (RH) en territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 5)	157
5.1.8	Mapa de distribución de la lluvia promedio (histórica) delimitada por las Regiones Hidrológicas (RH) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 6)	158
5.1.9	Zonificación del Escurrimiento Superficial (ES) delimitada por Región Hidrológica (RH) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 7)	160
5.1.10	Sensibilidad relativa a la Erosión Hídrica Laminar (SEHL) por Región Hidrológica (RH) del territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 8)	162
5.1.11	Sensibilidad relativa a la Erosión Eólica Laminar (SEEL) delimitada para las Regiones Hidrológicas (RH) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 9)	163
5.1.12	Factor R, sensibilidad a la erosión por efecto de la lluvia y el escurrimiento asociado (MJ mm/ha h) para dos zonas (Este y Oeste) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 10)	165
5.1.13	Factor K, zonificación de la sensibilidad a la erosión de las principales unidades de suelo conforme a la World Reference Base for Soil Resources (SEPUS-WRB) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 11)	167
5.1.14	Factor LS, distribución de la sensibilidad a la erosión por efecto de la longitud (L) y grado de pendiente (S) (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 12)	168

5.1.15	Factor C, zonificación de la sensibilidad de los suelos de acuerdo a los tipos de vegetación presente y uso del suelo (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 13)	171
5.1.16	Procesos de formación del suelo	173
5.1.17	Clasificación textural de los suelos por Región Hidrológica del estado de Durango	175
5.1.18	Principales unidades de suelo identificadas en el territorio del estado de Durango de acuerdo a la WRB (World Reference Base for Soils Resources)	178
5.1.19	División territorial de las acciones gubernamentales en materia de conservación de recursos naturales	180
5.1.20	Tasa de erosión histórica y para el escenario 2010-2030 estimada por Región Hidrológica (RH) con base en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para el estado de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 14 y 15)	182
5.2.1	Componentes del sistema climático global	192
5.2.2	Evolución anual histórica de la superficie sembrada y cosechada por modalidad hídrica	196
5.2.3	Evolución anual histórica del valor de la producción por modalidad hídrica	197
5.2.4	Localización geográfica del estado de Durango	197
5.2.5	Procedimiento para la realización del estudio de vulnerabilidad	198
5.2.6	Mapas de distribución de la Temperatura máxima media anual en condiciones actuales y proyectada para los próximos 30 años	204
5.2.7	Mapa de anomalía climática para la variable Temperatura máxima	205
5.2.8	Mapas de distribución de la Temperatura mínima media anual en condiciones actuales y proyectadas para los próximos 30 años	207
5.2.9	Anomalía climática para la variable Temperatura mínima	208
5.2.10	Mapas de distribución de la precipitación media anual en condición actual y proyectada para los próximos 30 años	210
5.2.11	Mapa de anomalía climática para la variable precipitación	212
5.2.12	Mapas de distribución de los rendimientos de Maíz en condición actual y proyectada para los próximos 30 años	215
5.2.13	Mapa de anomalía climática para la variable rendimiento	216
5.3.1	Distribución de la superficie sembrada de Frijol por productores	227
5.3.2	Superficie (ha) sembrada de Frijol de temporal del estado de Durango del año 2003 al 2010 (SIAP,2011)	238

5.3.3	Superficie (ha) cosechadas de Frijol de temporal del estado de Durango del año 2003 – 2010 (SIAP,2011)	239
5.3.4	Rendimiento de Frijol de temporal (t/ha) del estado de Durango en 2003-2010	240
5.3.5	Rendimiento histórico del Frijol de temporal para el estado de Durango	242
5.3.6	Escenario de rendimiento de Frijol de temporal fecha de siembra Junio	243
5.3.7	Escenario de rendimiento de Frijol de temporal fecha de siembra Julio	244
5.4.1	Evolución anual histórica de la superficie sembrada y cosechada modalidad hídrica de temporal	257
5.4.2	Evolución anual histórica del valor de la producción por modalidad hídrica	258
5.4.3	Evolución anual histórica de la superficie sembrada y cosechada de Avena Forrajera en condiciones de temporal	258
5.4.4	Evolución anual histórica del rendimiento de Avena Forrajera en condiciones de temporal	259
5.4.5	Mapa de rendimiento histórico de Avena Forrajera de temporal vs proyectado con fecha de siembra en el mes de Mayo	266
5.4.6	Mapa de rendimiento histórico de Avena Forrajera de temporal vs proyectado con fecha de siembra en el mes de Junio	267
5.4.7	Mapa de rendimiento histórico de Avena Forrajera de temporal vs proyectado con fecha de siembra en el mes de Julio	269
6.1	Tecnologías clave para reducir emisiones de CO ₂ conforme al escenario del Blue Map	273
6.2	Tendencia de las emisiones de GEI proyectadas y mitigadas	278

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1.1	Descripción e importancia de los climas del estado de Durango	28
1.2	Unidades de suelo predominantes en el estado de Durango agrupados de acuerdo a su distribución e importancia relativa (IR)	32
1.3	Vegetación predominante en el estado de Durango agrupada de acuerdo a su distribución e importancia relativa (IR)	33
1.4	Crecimiento poblacional del estado de Durango	41
1.5	Participación económica sectorial al PIB del estado de Durango en millones de pesos a precios del 2003	44
1.6	Participación económica del estado respecto al nacional para el año 2008	44
2.1	Categorías y Subcategorías del IEEGEI	51
2.2	Emisiones de GEI en Gg de CO ₂ eq. por categoría, año y/o periodo para el estado de Durango	57
2.3	Emisiones en Gg de otros compuestos en el estado de Durango, 2005	59
3.1	Estimaciones de aumento de la temperatura (°C) para finales del siglo XXI	63
3.2	Estaciones meteorológicas del servicio meteorológico nacional (EM-SMN) empleadas para el análisis climático para Durango	71
3.3	Resultados de la evaluación cruzada de siete modelos utilizados como opciones para la interpolación de 12 variables climáticas	78
3.4	Resultados posibles del cálculo del índice de impacto de Cambio Climático (IICC) e interpretación sintética por variable extrema	79
3.5	Consideraciones claves del escenario Cuentas Actuales 2005	98
3.6	Consumo energético anual del estado de Durango en TJ	102
3.7	Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Residencial, Comercial y de Servicios	103
3.8	Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Transporte	104
3.9	Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Industrias de la Manufactura y Construcción	105
3.10	Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Industrias de generación de Energía Eléctrica	106
3.11	Crecimientos para el escenario BAU	107
4.1	Amenaza-riesgo de los sectores del estado de Durango	116

4.2	Análisis de la vulnerabilidad proyectada	117
4.3	Riesgos y oportunidades de las amenazas climatológicas	119
5.1.1	Procesos dominantes de la degradación del suelo en las cuencas de México	142
5.1.2	Índices para estimar pérdida de suelo para crear mapas de erosión actual y escenarios de riesgo 2010-2030	147
5.1.3	Descripción e importancia de los climas del estado de Durango	152
5.1.4	Superficie e importancia relativa de las Provincias Fisiográficas identificadas en el territorio duranguense	155
5.1.5	Superficies de existencia de vegetación en 2010 e importancia relativa para los seis grupos en estudio	157
5.1.6	Ecuaciones empleadas para determinar el valor de R de la EUPS	164
5.1.7	Factor K, de acuerdo con el tipo de suelos de la clasificación desarrollada por la WRB (Ver descripción detallada de las unidades de suelo en el ANEXO 5.1-B Suelos)	166
5.1.8	Homologación de los grupos de vegetación para el cálculo de cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa y asignación del factor C	170
5.1.9	Distribución, superficie, importancia y sensibilidad relativa a la degradación y erosión de las principales unidades de suelo identificadas en el territorio de Durango con base en la WRB (World Reference Base for Soils Resources)	177
5.1.10	Obras enfocadas a la conservación y uso sustentable de suelo y agua entre 2008 y 2010	180
5.1.11	Rangos de clasificación de la erosión hídrica	181
5.3.1	Principales países productores de Frijol 2000-2010. Participación % con respecto a la producción mundial total	225
5.3.2	Rendimiento actual y a 30 años del cultivo de Frijol de temporal bajo un escenario de Cambio Climático	241
5.3.3	Escenario a 30 años con siembras a realizar en los meses de junio y julio	245
5.3.4	Rendimiento del Frijol por municipio en dos épocas de siembra en un escenario A2 a 30 años	246
6.1	Reducción de emisiones por categoría y sector para alcanzar la meta al 2016	278
6.2	Padrón vehicular tipo sedan del estado de Durango	289
6.3	Proyección vehicular acumulativa y sus emisiones de GEI para el estado de Durango, aplicación de la estrategia EMT3-5.	291
8.1	Resumen de los resultados del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-Durango)	311

RESUMEN EJECUTIVO

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Durango tiene como objetivo principal proponer medidas de mitigación de emisiones de GEI que ayuden a disminuir la contribución estatal de GEI a la atmósfera; además de plantear las acciones de adaptación en los sectores más vulnerables al Cambio Climático que permitan reducir el impacto y el daño posible sobre los sectores sociales, productivos y ambientales. Para lograr tal objetivo es fundamental contar con el Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI-Durango, 2012) que permita conocer la magnitud de las emisiones en cada una de las categorías consideradas, obtener los escenarios climáticos y de emisiones GEI, determinar la vulnerabilidad de los sectores y proponer estrategias de mitigación y adaptación; todos referidos en el contexto de Cambio Climático.

En el Capítulo I se presenta la descripción de los aspectos generales del estado y la problemática del Cambio Climático en donde se busca referenciar el marco de estudio y dimensionar los compromisos y políticas que como país se han adquirido en esta materia.

El capítulo II está referido al IEEGEI, se presenta un resumen general del mismo remarcando la metodología de cálculo empleada, la estimación de las emisiones de GEI por categorías y los resultados finales. En este se destaca que las emisiones promedio por categoría en el periodo 2005-2008, en Gg de CO₂ eq. fueron: 11,400.54 para Energía; 874.80 para Procesos Industriales y Solventes; 2,664.90 para Agricultura; 693.78 para Desechos; mientras que la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS) tuvo una emisión total de 4,279.18 y una captura de -4,007.01, obteniéndose un balance de 272.17. Cabe destacar que tales emisiones se determinaron considerando únicamente los tres gases de invernadero más importantes: bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

En el capítulo III se presentan los escenarios climáticos extremos, los cuales fueron desarrollados mediante la técnica de reducción de escala (*Downscaling*) y LARS-WG (*Long Ashton Research Station Weather Generator*); considerando los escenarios A2-20, A2-50 y A2-70 para las tres de variables climáticas: Temperatura máxima (Tmax),

Temperatura mínima (Tmin) y Precipitación (Pp). Se puede observar que los extremos de las variables Tmax y Tmin, en 90 años aumentarán en ciertas zonas del estado, hasta en 10 y 15 °C, respectivamente mientras que la precipitación extrema disminuirá en algunas regiones hasta unos 80 mm de H₂O en 24 horas. Los escenarios de emisiones de GEI y el balance energético futuro fueron obtenidos mediante el LEAP (Long-Range Energy Alternatives Planning Systems) desarrollado por Stockholm Environment Institute en su Versión: 2008.0.0.96. Se reporta, según LEAP, que en el 2005 la categoría energía del estado demandó 138,940.80 miles de Gigajoules y para el año 2030 la demanda esperada será de 276,606.47 miles de Gigajoules. Esto representa un incremento de la demanda requerida de 99.08% en 25 años, lo que significa un reto considerable que tienen que salvar los tomadores de decisiones para garantizar la demanda futura. Por otra parte, el potencial de calentamiento (emisiones de GEI) con el que el estado de Durango contribuye al Calentamiento Global fueron de 9,480.56 miles de toneladas de CO₂ equivalentes (Gg de CO₂ eq.), los cuales se proyectan para el 2030 hasta una emisión de 16,538.16 Gg de CO₂ eq.

En el capítulo IV se identificaron los sectores más vulnerables, considerando la aportación/erogación económica al estado estos son: Hídrico, USCUSyS (Bosque/Forestal), Ganadería, Agricultura, Salud, Social e Industrial. Cabe destacar que aunque el estado no tiene una vocación turística, existe dentro del Plan Estatal de Desarrollo (2011-2016), estrategias específicas para “consolidar el desarrollo de nuestra infraestructura turística, que ubique a Durango en el circuito de lugares atractivos para el turismo cultural, de convenciones y de naturaleza”.

En el capítulo V se presentan de manera específica 4 estudios de vulnerabilidad con el objeto de evidenciar el efecto del Cambio Climático en los sectores de USCUSyS y Agricultura. Los trabajos se refieren a: Evaluación de la vulnerabilidad de los suelos del estado, evaluación de la vulnerabilidad del Maíz de temporal, evaluación de la vulnerabilidad del Frijol y evaluación de la vulnerabilidad de la Avena Forrajera bajo condiciones de Cambio Climático; los resultados son discutidos de manera específica en cada estudio.

En el capítulo VI se discuten las medidas de mitigación propuestas para cada categoría, jerarquizándolas en base a la magnitud de emisión calculada en el IEEGEI-Durango.

En el capítulo VII se discuten las acciones de adaptación propuestas para cada sector, jerarquizándolas en base a la vulnerabilidad sectorial determinada en el estudio de adaptación al Cambio Climático.

Finalmente en el capítulo VIII se presenta un esquema de las actividades y estrategias futuras para alcanzar el éxito del Durango.

ARREGLOS INSTITUCIONALES

Para la elaboración del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Durango, el Instituto Tecnológico de Durango conformó y coordinó el grupo de trabajo en el que participaron investigadores y estudiantes de posgrado y licenciatura (prestadores de servicio social, residentes profesionales y tesis) de instituciones de educación superior, centros de investigación y dependencias de gobierno federal. Todo esto fue posible por la colaboración y apoyo de instituciones financieras y dependencias gubernamentales de los tres órdenes de Gobierno que facilitaron el acceso a la información.

Institución Coordinadora	Instituto Tecnológico de Durango (ITD)
Instituciones Participantes	Instituto Tecnológico de Durango (ITD) Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA-Chapingo) Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana (ITVG) Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-Durango) Centro Nacional de Investigación Disciplinaria- Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA-INIFAP) Ciencias Forestales de la UJED (CF-UJED) Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-Durango) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA-Durango) Instituto Tecnológico del Salto (ITS)
Instituciones Financieras	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Instituto Nacional de Ecología (INE) Gobierno del Estado de Durango Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNyMA)

	<p>Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCyTED) Instituto Tecnológico de Durango (ITD)</p>
<p>Dependencias Colaboradoras</p>	<p>Secretaría de Energía (SENER) Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGARPA) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Delegación Durango (SEMARNAT-Durango) Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA Combustibles) Secretaría de Comunicaciones y Transporte Delegación Durango (SCT-Durango) Comisión Federal de Electricidad (CFE: Región Centro y La Laguna) Petróleos Mexicanos (PEMEX: Refinación Durango y La Laguna) Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-Durango) Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) Organización Nacional de Protección al Patrimonio Familiar (ONAPPAFA) Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNyMA-Durango) Secretaría de Finanzas del Estado Secretaría de Economía de Durango Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas del Estado (SECOPE) Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA-Durango) Dirección de Servicios Públicos Municipales del H. Ayuntamiento del Municipio de Victoria de Durango Dirección de Servicios Públicos Municipales del H. Ayuntamiento del Municipio de Lerdo Dirección de Servicios Públicos del H. Ayuntamiento del Municipio de Gómez Palacio</p>

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Caracterización ecológico-geográfica del estado de Durango

1.1.1. Ubicación geográfica

El estado de Durango, de acuerdo a INEGI (2011a), se encuentra situado en el extremo Norte de la zona interior de la República Mexicana (Latitud $26^{\circ} 53'$ - $22^{\circ} 16'$ N y Longitud: $102^{\circ} 29'$ - $107^{\circ} 16'$ O), su territorio comprende 520 kilómetros de Norte a Sur y de 480 kilómetros de Oriente a Poniente. El trópico de Cáncer pasa cerca de la Villa del Mezquital, dejando al Sur la Sierra Madre y el meridiano de 105° , que es el límite horario. Tiene una superficie de $123,180 \text{ Km}^2$, que corresponde al 6.08% del territorio nacional, por lo que ocupa el 4° lugar nacional en superficie; colindando al Norte con Chihuahua y Coahuila de Zaragoza, al Este con Coahuila de Zaragoza y Zacatecas, al Sur con Zacatecas, Nayarit y Jalisco, al Oeste con Sinaloa y Chihuahua (Figura 1.1).

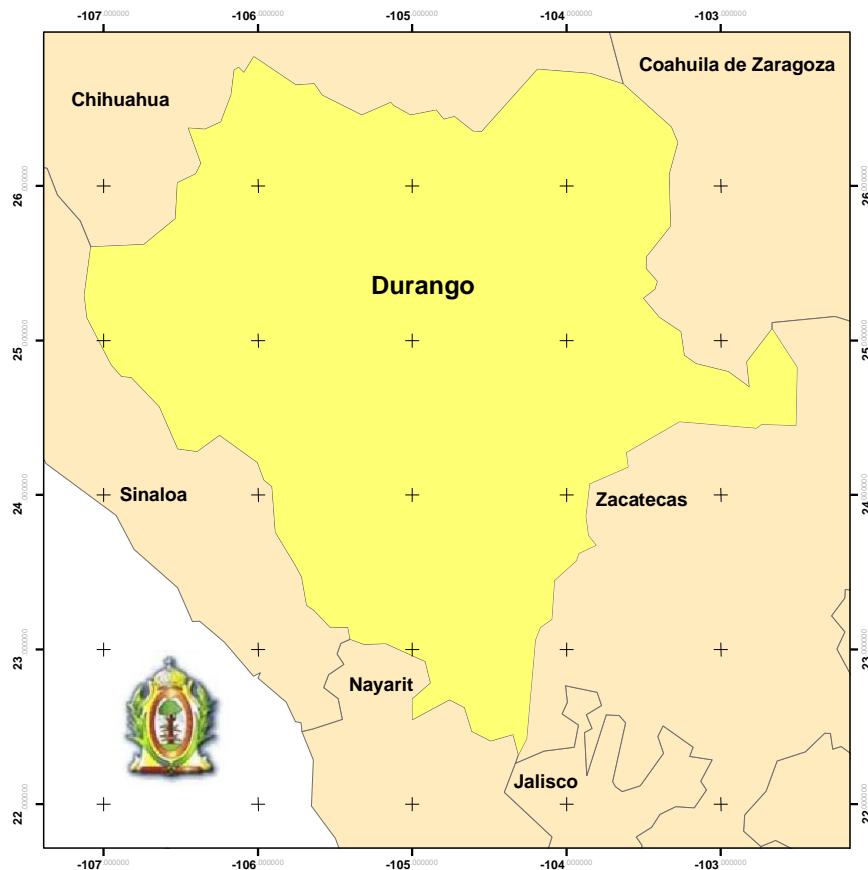


Figura 1.1 Ubicación geográfica y colindancias del estado de Durango

La capital del estado fue fundada por Francisco de Ibarra el 8 de julio de 1563 con el nombre de Villa de Durango, el nombre oficial actual de la capital del estado es "*Victoria de Durango*" en honor al primer presidente de México, Guadalupe Victoria, quien fuera originario de Tamazula, Dgo. (INFDM, 2005).

1.1.2. Fisiografía

Como se muestra en la Figura 1.2 en el estado de Durango se localizan cuatro provincias fisiográficas (INEGI, 2011b), mismas que a continuación se describen:

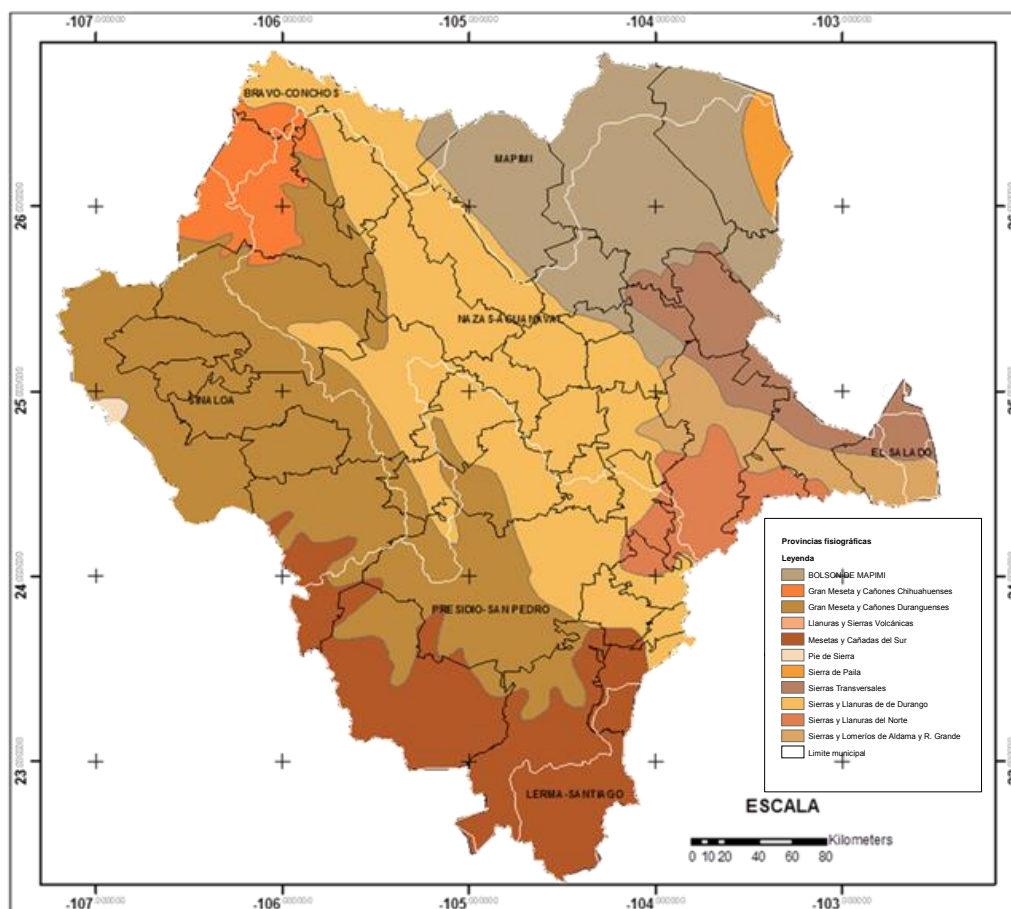


Figura 1.2 Fisiografía del estado de Durango

1. La Sierra Madre Occidental, se extiende en dirección Noroeste-Sureste ocupando el 71.3% de la superficie estatal, constituida principalmente por rocas ígneas y sedimentarias del periodo Terciario correspondientes a la era Cenozoica.

2. Las Sierras y Llanuras del Norte, involucra la sub-provincia del Bolsón de Mapimí lo que la define como una provincia árida y semiárida con sierras bajas y abruptas, se compone principalmente por rocas sedimentarias, ígneas y suelos originados en el periodo Cuaternario y Terciario de la era Cenozoica.
3. La Sierra Madre Oriental por su parte, se extiende en el Noreste del estado y está constituida fundamentalmente por rocas sedimentarias de la era Mesozoica.
4. Por último, la Mesa del Centro situada entre las sierras Madre Oriental y Occidental en la parte oriental del estado, está caracterizada por la presencia de llanuras y lomeríos aluviales y geológicamente el tipo de roca dominante es sedimentaria.

1.1.3. Clima

Durango se reconoce por tener la mayor cantidad de contrastes climáticos que se combinan con topografía irregular con alturas que van desde los 200 metros sobre el nivel del mar (msnm), en los límites con los estados de Sinaloa y Nayarit, hasta encontrar algunos sitios de la sierra con alrededor de 3,200 msnm; ocupa una amplia región latitudinal: al sur del Trópico de Cáncer, está dentro de la Zona Tropical; y al Norte, en la Templada y conocida como Zona Subtropical Norte (INEGI, 2011c).

De acuerdo a la clasificación climática de Köpen, modificada por García (2003) en Durango se identifican 3 tipos de climas (A, B y C) y al menos 6 subtipos, que en este caso se definen como grupos, siendo los de mayor importancia relativa los pertenecientes a los grupos 3 y 4, donde predominan ambientes áridos y semiáridos, cuya principal característica son las precipitaciones inferiores a 500 mm en promedio anual, y temperaturas mayores a los 20 °C (Tabla 1.1).

En la Figura 1.3 se ilustran los diferentes climas que prevalecen en el estado de Durango y que a continuación se discuten a detalle.

Tabla 1.1 Descripción e importancia de los climas del estado de Durango

Grupo/clave por tipo de clima	Descripción	Superficie Km²	Importancia relativa (%)
Grupo 1: (A)C (m) y (w1)	Semicálido, templado húmedo, subhúmedo y lluvias de verano del 5 al 10% anual	10,111.53	8.2
Grupo 2: Aw0, w1 y w2	Cálido subhúmedo con lluvias de verano del 5 al 10.2% anual	6,079.70	4.9
Grupo 3: BS1(h')w, hw, kw	Semiárido, cálido con lluvias de verano del 5 al 10.2% anual	36,845.90	29.9
Grupo 4: Bsohw, BWhw	Árido, cálido, árido templado y muy árido semicálido con lluvias de verano del 5 al 10.2% anual	33,954.70	27.5
Grupo 5: C(w1), (w2), (wo)	Templado, subhúmedo con lluvias de verano del 5 al 10.2% anual	20,828.30	16.9
Grupo 6: Cb'(m)(f), (w1)x', (w2), (w2)'x	Templado semifrío con verano fresco largo, húmedo y subhúmedo con lluvias de verano del al 10.2% anual	15,481.00	12.6

Fuente: INEGI, 2011c.

El clima que abarca la mayor extensión (26.05%) es el semi-seco templado, se distribuye en forma de una franja que cruza a la entidad del Nornoroeste al Este-Sureste; en estos terrenos se encuentran situadas las poblaciones de Santa Catarina de Tepehuanes, Santiago Papasquiaro, Canatlán, Guadalupe Victoria, la capital Victoria de Durango y Vicente Guerrero, entre otras; su temperatura media anual varía de 12 a 18°C y su precipitación total anual va de 400 a 600 mm.

Al Noreste de Canatlán y al Oeste y Suroeste de Vicente Guerrero, se localizan dos áreas de clima semi-seco y semi-cálido, las cuales apenas suman 1.44% de la superficie estatal, presentan temperaturas medias anuales entre 18 y 22°C, y su rango de precipitación total anual va de 400 a más de 500 mm. En el Sur está ubicada una zona reducida de clima semi-seco muy cálido y cálido (0.39%), en ella la temperatura media anual va de 22 a 26°C y la precipitación total anual poco menor de 800 mm.

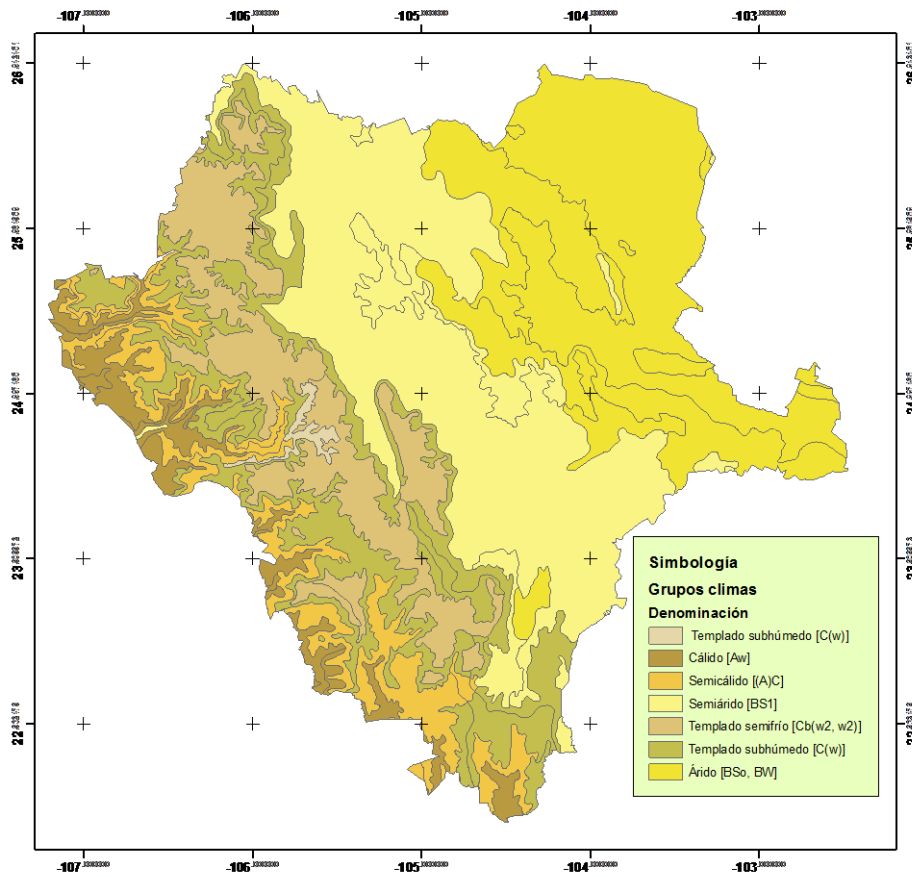


Figura 1.3 Distribución de Climas en el estado de Durango.

Del lado Occidental y Sur de la zona de clima semi-seco templado, se extienden los terrenos que están bajo la influencia de clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Tales terrenos representan 22.01% del área total de Durango; en éstos, la temperatura media anual varía entre 12 y 18°C, la temperatura media del mes más frío va de -3 a 18°C y la precipitación total anual desde 600 hasta 1,500 mm.

En el Noreste (parte del Bolsón de Mapimí y de la Comarca Lagunera) y Este, predomina el clima muy seco semi-cálido, el cual abarca 12.61% del territorio duranguense; en esta zona se localizan las siguientes poblaciones: Ceballos, Tlahualilo de Zaragoza, Gómez Palacio y Ciudad Lerdo, para las que se reportan las precipitaciones totales anuales más bajas de la entidad, entre 100 y 300 mm, y la temperatura media anual varía de 18 a 22°C. En una proporción mucho menor, por lo que no se muestran en el mapa, se encuentran los climas muy seco, muy cálido y cálido, localizados al Suroeste de Ciudad Lerdo y cuya

temperatura media anual va de 22 a 24°C, y muy seco templado, al Oriente de Ceballos y con temperatura media anual entre 16 y 18°C; en ambos la precipitación total anual es menor de 300 mm.

Las porciones más elevadas de la zona serrana en el Occidente (12.29%), son las que presentan clima semi-frío y subhúmedo con lluvias en verano. Dichas porciones integran unidades discontinuas rodeadas por clima templado subhúmedo; en ellas la temperatura media anual va de 8 a 12°C y la precipitación total anual varía de 600 a más de 1,500 mm. En un área muy reducida, al Poniente de la localidad El Salto, se distribuye el clima semi-frío húmedo con abundantes lluvias en verano; en él la temperatura media anual va de 10 a 12°C y la precipitación total anual de 1,200 a 1,500 mm.

El clima seco semi-cálido abarca 8.30% de la entidad, se localiza al Noroeste de la sierra El Rosario y en una franja que va del Noroeste de Rodeo a San Juan de Guadalupe. Estas áreas tienen temperaturas medias anuales entre 18 y 22°C, su precipitación total anual es de 300 a 400 mm. Al Norte y Noroeste de la localidad de Rodeo, se encuentran las zonas de clima seco templado (4.55%), en estas la temperatura media anual es de 12 a 18°C, en tanto que la precipitación total anual varía entre 300 y 400 mm.

En los terrenos contiguos al límite con los estados de Sinaloa y Nayarit, pertenecientes a los cañones y cañadas de los ríos Humaya-Colorado, San Lorenzo-San Gregorio, Los Remedios, Piaxtla, San Diego-Galindo y Mezquital, entre otros, donde la altitud varía entre 1,000 y 1,200 metros sobre el nivel del mar (msnm), se distribuye el clima semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano. Este comprende 8.14% de la superficie de Durango, lo caracterizan temperaturas medias anuales mayores de 18°C, temperaturas medias del mes más frío entre - 3 y 18°C y precipitaciones totales anuales entre 800 y 1,500 mm.

Las zonas más bajas de los cañones y cañadas de los ríos mencionados en el párrafo anterior, cuya altitud es menor de 1,000 msnm y que representan 3.99% del área estatal, tienen clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Ahí, la precipitación total anual va de 700 a 1,500 mm, éste último valor principalmente al Suroeste de El Salto; la temperatura media anual comprende un rango entre 22 y 26°C, mientras que la temperatura media del mes más frío es mayor a 18°C.

1.1.4 Recursos Naturales

a) Edafología

Con base en la clasificación de suelos de la WRB (World Reference Base for Soils *Resources*) empleada actualmente por el INEGI-G (2008) en el territorio de Durango se identifican 17 de las 25 Unidades de suelo inventariadas para México y reconocidas por la FAO (Food and Agriculture Organization)/UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)/ISRIC (International Soil Reference and Information Centre) en 1988 (SEMARNAT, 2005).

Para Durango, de acuerdo a su importancia y distribución territorial (Figura 1.4) se distinguen tres grupos: Grupo 1, donde se encuentran los suelos que pueden localizarse en los diferentes ambientes, que en conjunto cubren una superficie de 82,328.9 km² (68.5%); seguido por el Grupo 2, con 31,415.6 km² (26.1%) y finalmente el Grupo 3, con 5,987.5 km² (5%), ver Tabla 1.2.

b) Vegetación y uso de suelo

En la Tabla 1.3 se resume en 11 grupos de la vegetación existente en el estado de Durango (INEGEI, 2010), en la que destacan por la superficie que ocupan del total los siguientes: bosques de clima templado, comunidades de clima árido y pastizales de clima semiárido, con 42.31, 21.79 y 14.42 km², respectivamente, cuya distribución se presenta en la Figura 1.5.

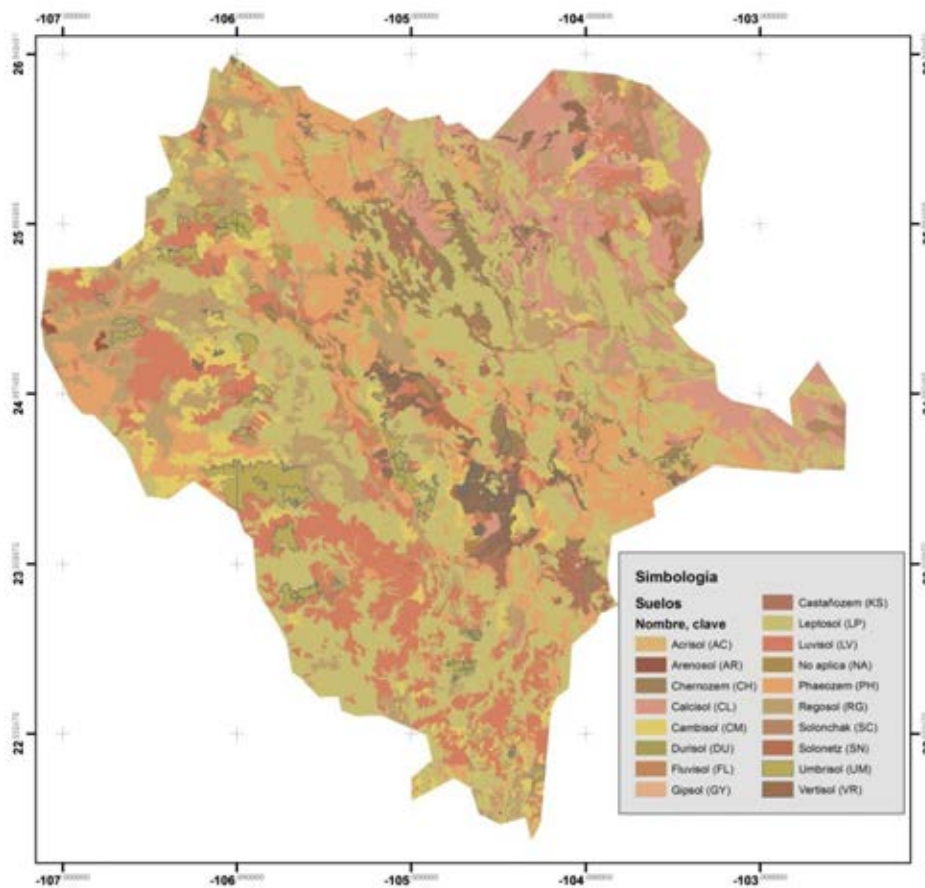


Figura 1.4 Tipos de suelo del estado de Durango

Tabla 1.2 Unidades de suelo predominantes en el estado de Durango agrupados de acuerdo a su distribución e importancia relativa (IR).

Grupo	Unidades de suelo	Distribución	Superficie (Km ²)	IR %
1	Arenosol, AR (0.1%), Calcisol, CL (8.9%), Leptosol, LP (33%), Phaeozem, PH(14.8%), y Regosol, RG (11.7%)	Muy amplia	82,328.90	68.5
2	Acrisol, AC(0.2%), Chernozem, CH(3.5%), Cambisol, CM (4.8%), Castañozem, KS(1.7%), Umbrisol UM (3%), Luvisol, LV(12.9%)	Baja y muy localizada	31,415.60	26.1
3	Durisol, DU (0.4%), Fluvisol, FL (0.8%), Gipsol, GY (0.2%), Solonchak, SC (1%), Solonetz, SN(0.5%), Vertisol, VR (2.1%)	Baja	5,987.50	5.0

Fuente: Resultado de procesos digitales en SIG con base en la cobertura edafológica del INEGI (2007); El 0.4% restante corresponde a cuerpos de agua.

Tabla 1.3 Vegetación predominante en el estado de Durango agrupada de acuerdo a su distribución e importancia relativa (IR).

Grupo	Denominación	Distribución	Superficie (Km²)	IR %
1	Bosque	De Norte a Sur a lo largo de la Sierra Madre Occidental.	63,836.00	42.31
2	Comunidades áridas	Desde los 24° Latitud Norte, en la porción Este Durango.	32,877.10	21.79
3	Pastizal natural	De Norte a Sur del Estado, cubriendo los Valles centrales.	21,758.31	14.42
4	Usos agropecuarios	En los Valles centrales y al Norte	17,759.05	11.77
5	Selva baja	En la zona de barlovento de la Sierra Madre Occidental.	9,755.20	6.47
6	Comunidades semiáridas	De Norte a Sur del Estado, cubriendo los Valles centrales.	2,221.21	1.47
7	Selva altas y medianas	En la zona de sotavento de la Sierra Madre Occidental	1,675.81	1.11
8	Zona urbana	Concentrada en dos zonas: Capital del Estado y Comarca Lagunera	482.42	0.32
9	Cuerpos de agua	Primordialmente en la parte central del Estado.	422.17	0.28
10	Comunidades subacuáticas	Asociada a los cuerpos de agua permanente.	44.20	0.03
11	Galería	Asociada a los flujos de agua superficial como ríos y arroyos de carácter permanente y semipermanente.	36.51	0.02
			150,867.98	100.00

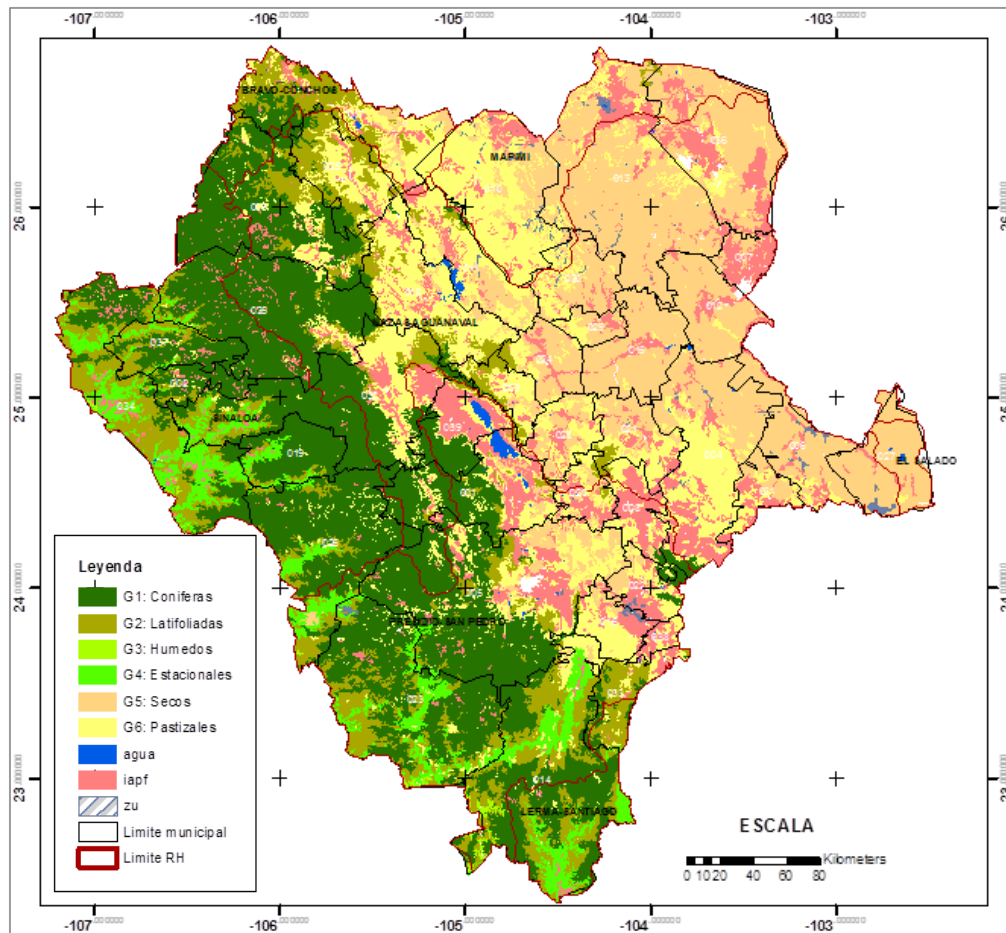


Figura 1.5 Uso de suelo y vegetación del estado de Durango

c) Hidrografía

La hidrografía está representada por las corrientes principales de los ríos Nazas, Aguanaval, Baluarte, Mezquital, Acaponeta, Tepehuanes, Ojo Caliente, Tamazula y otras corrientes secundarias o afluentes de éstos, que forman parte de la vertiente del Pacífico. Presentan en su mayoría drenaje de tipo dendrítico y régimen perenne. Sobre las corrientes principales se ubican los aprovechamientos siguientes: presas Francisco Zarco, Lázaro Cárdenas (El Palmito), Peña del Águila, San Bartoleo y la Guadalupe Victoria, todas ellas para riego y uso piscícola.

Dentro del estado existen siete regiones hidrológicas en función de su red hidrográfica y su orografía. La mayoría de los ríos del estado de Durango, aunque nacen dentro del territorio del propio estado, desembocan en el mar o en lagunas o presas localizadas en

ríos que desembocan en las costas del estado de Sinaloa son: el Río Humaya que también se conoce con el nombre de Río Huayapan; el Río Tamazula, nace en el municipio de Canelas; el Río de los Remedios, tiene su origen en el municipio de Canatlán; el Río Piaxtla, se origina en el municipio de San Dimas, conserva su nombre hasta desembocar en el Océano Pacífico; el Río Ventanas, nace en el municipio de Pueblo Nuevo; el Río Baluarte, nace en el municipio de Pueblo Nuevo, marca el límite entre este municipio y el estado de Sinaloa. Los ríos que desembocan en las costas del estado de Nayarit son: el Río San Diego, se origina en el municipio de Durango; el Río Mezquital, nace en el municipio de Durango y pasa cerca de la capital del estado con el nombre de Río Tunal; el Río Huaynamota, nace en el municipio de Mezquital y después de salir del estado de Durango descarga sus aguas en el Río Lerma-Santiago.

- ▶ Vertiente del Bolsón de Mapimí.- Dos ríos pertenecen a esta vertiente: Nazas y Aguanaval. El Río Nazas, es el de mayor extensión en el estado de Durango y uno de los más importantes de la República Mexicana. Le dan origen los ríos Santiago y Tepehuanes, que se unen en el municipio de Santiago Papasquiaro. Ahí recibe el nombre de Río Ramos y penetra en el municipio de El Oro hasta la presa Lázaro Cárdenas o El Palmito, en el municipio de Indé. En esta presa confluye también el Río Sextín. A partir de ese punto recibe el nombre de Río Nazas.

d) Flora y fauna

En la región del Semi-desierto la vegetación está compuesta por pequeños arbustos, nopales (del género "Opuntia" y de la familia "Cactaceae"), magueyes (del género "Agave" y de la familia "Agavaceae", biznagas y otras plantas espinosas. Entre los animales que habitan la región hay coyotes, gavilanes, serpientes, búhos, camaleones, tarántulas y alacranes.

En la región de los Valles hay grandes pastizales, árboles de huizaches, sabinos y álamos. Entre los animales de la región se observan coyotes, conejos, ardillas, zorros, gansos y patos. En los ríos hay bagres, lobinas, carpas y mojarras.

En la región de la Sierra, la vegetación o flora la forman pinos, encinos, cedros, madroños y pastizales entre otros. Dentro de la fauna de esta región se encuentran venados, pumas, gatos monteses, coyotes, zorros, tejones, guajolotes. También existen peces, como el bagre y la trucha, además de algunas aves y reptiles.

En la región de las Quebradas la vegetación es abundante, existen árboles frutales como guamúchil, zapote, guayabo, ciruelo, papayo, aguacate, chirimoyo, lima, plátano, naranjo y mango. También abundan animales como pumas, jabalíes, armadillos, tejones, boas, iguanas, serpientes y gran variedad de aves: pericos, clarines, gavilanes, halcones, búhos y lechuzas (INFDM, 2005).

e) Áreas Naturales Protegidas

El estado de Durango cuenta con dos áreas naturales protegidas de orden federal en la Sierra Madre Occidental: La Michilía y Mapimí, mismas que fueron decretadas como reservas de la Biosfera en el Diario Oficial de la Federación el 18 y 19 de julio de 1979, respectivamente. Dichas reservas, La Michilía y Mapimí, con una extensión de 35,000 y 20,000 ha, respectivamente, cuentan con flora y fauna propias de zonas desérticas, que en muchos de los casos constituyen especies poco comunes en ambientes similares, endémicas, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción por lo que es de suma importancia conservarlas para evitar la degradación de los ecosistemas (CONABIO, 2011). A continuación se presentan ejemplos de casos críticos.

- ➔ Área Natural Protegida La Michilía (ANP-La Michilía). Se encuentra enclavada en la ladera Occidental de la Sierra Madre Occidental dentro de la provincia fisiográfica mesetas y cañadas del Sur, delimitadas por la Sierra Úrica compartida con Zacatecas. Los principales tipos de vegetación son bosque de pino-encino, bosque de encino, matorral xerófilo con presencia de manzanita (*Arctostaphylos pungens*), encino chaparro (*Quercus microphilla*) y huizache (*Acacia schaffneri*), pastizal, vegetación acuática, y subacuática y vegetación ribereña. Se han identificado por lo menos 770 especies de plantas que equivalen al 21.2% de las especies reportadas en Durango y representa el 26.5% del total estimado para la parte alta de la región del río Mezquital. Entre las especies prioritarias reportadas en la reserva están el

águila real (*Aquila chrysaetos*) y otras dos especies de aves rapaces; la guacamaya verde (*Ara militaris*), el búho manchado (*Strix occidentalis*), el trogón serrano silbador (*Euptilotis neoxenus*) especie endémica y el guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*) que es importante desde el punto de vista cinegético (SEMARNAT-CONANP, 2010).

- ➡ Área Natural Protegida Mapimí (ANP-Mapimí). Se encuentra ubicada al Norte de la altiplanicie central mexicana, en el Bolsón de Mapimí. Al Noreste del estado de Durango, donde colinda con los estados de Chihuahua y Coahuila. Comprende parte de los Municipios de Mapimí y Tlahualillo, Dgo., Jiménez, Chih. y Sierra Mojada, Coah. Por sus características de aridez y vegetación, contiene ecosistemas representativos del desierto chihuahuense y de la subprovincia geográfica de Mapimí (SEMARNAT-INE, 2007).

Al igual que otros bolsones, el de Mapimí es una depresión o cuenca cerrada a la que fluyen los pocos ríos y arroyos que se forman después de la época de lluvias. Forma parte de la vertiente del Bolsón de Mapimí. La cuenca de la reserva incluye los sistemas de drenaje de la Laguna de las Palomas y la Laguna del Rey (Morafka, 1988). La cuenca de la reserva muestra la fisiografía típica de la subprovincia geográfica de Mapimí con una capa calcárea y depósitos de pie de monte de origen volcánico o calcáreo, y bajadas y cerros de origen volcánico y sedimentario. El área forma parte de la orilla oriental del geosinclinal mexicano. La altitud máxima es de 1,480 msnm en el Cerro San Ignacio y la altitud media del piso de la cuenca de la reserva es de 1,150 msnm. Es una región de amplias llanuras y pequeñas serranías. De acuerdo al Diario Oficial de la Federación (DOF, 2002) entre las especies prioritarias endémicas, raras y amenazadas destacan la tortuga galápagos de Mapimí (*Gopherus flavomarginatus*) y la lagartija escofina de Mapimí (*Xantusia bolsonae*).

En las Figuras 1.7 y 1.8 se muestran algunos aspectos de ambas reservas.

Además de las anteriores, el estado de Durango ha declarado tres nuevas áreas naturales protegidas (ANP) con administración gubernamental:



Figura 1.7 Reserva de la Biósfera: La Michilfa, Durango



Figura 1.8 Reserva de la Biósfera: Mapimí, Durango

- ➔ El ANP estatal Cañón de Fernández, ubicada en el municipio de Lerdo, Dgo., fue decretada como reserva natural protegida con este carácter en el 2004, cuenta con una extensión territorial 17,001 ha., destaca por su gran diversidad debido a la existencia de Ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), Álamo (*Populus spp.*) y Sauces (*Salix babylonica*). También cuenta con especies animales en peligro de extinción como son la zorra (*Velox spp.*), cacomixtle norteño (*Astutus insulicola*) y el perro de agua (*Longicaudis spp.*).

- ➡ El Tecuán fue un área originalmente donada (1981) para la formación de un Parque Nacional de administración Federal, en 1994 el Gobierno de Durango solicitó su devolución con el fin de manejarlo como un parque ecológico de interés estatal y fue hasta el 2008 cuando fue decretado como ANP. Su extensión territorial es de 894 ha y está ubicada en el municipio de Durango (Rentería, 2010). Biogeográficamente sirve tanto como barrera como corredor biológico (Norte-Sur), y es un refugio y un centro de radiación adaptativa (Bye, 1995). Cuenta con vegetación de pino y encino, además destacan las siguientes plantas vasculares como son: Candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*), Cactácea (*Mammillaria jaliscana*), Nopal tapón (*Opuntia durangensis*) y las especies animales de sapo de meseta (*bufo compactiles*) y larana verde (*Hyla eximia*).

- ➡ La Quebrada de Santa Bárbara se declaró como área natural protegida a partir del 2008 y tiene una extensión territorial de 66 ha, está ubicada en el interior del Ejido El Brillante del municipio de Pueblo Nuevo, Dgo. Por su cercanía y características climáticas similares a El Tecuán, muchas especies fauna y flora son semejantes. En el ANP de la Quebrada de Santa Bárbara, se resalta la necesidad de conservar la Pinacea (*Picea chihuahuana*) que es considerada como una especie en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-ECOL-2001. A esta lista debería incluirse el Abeto (*Abies durangensis*) y *Maianthemum mexicanum* (García, 2008).

1.2. Caracterización socioeconómica del estado de Durango

1.2.1 Población

Para el año 2010, Durango tenía una población de 1,632,934 habitantes de los cuales 803,890 eran hombres y 829,044 eran mujeres. Su densidad poblacional correspondía a 12.3 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km²), mucho menor al promedio nacional (53 hab/km²). El 64.38% de la población se concentra en los municipios de Victoria de Durango, Gómez Palacio y Lerdo. En la Figura 1.9 se observa la distribución de la población de los municipios con más de 10,000 habitantes. El 69 % es urbana y el 31% rural (INEGI, 2010).

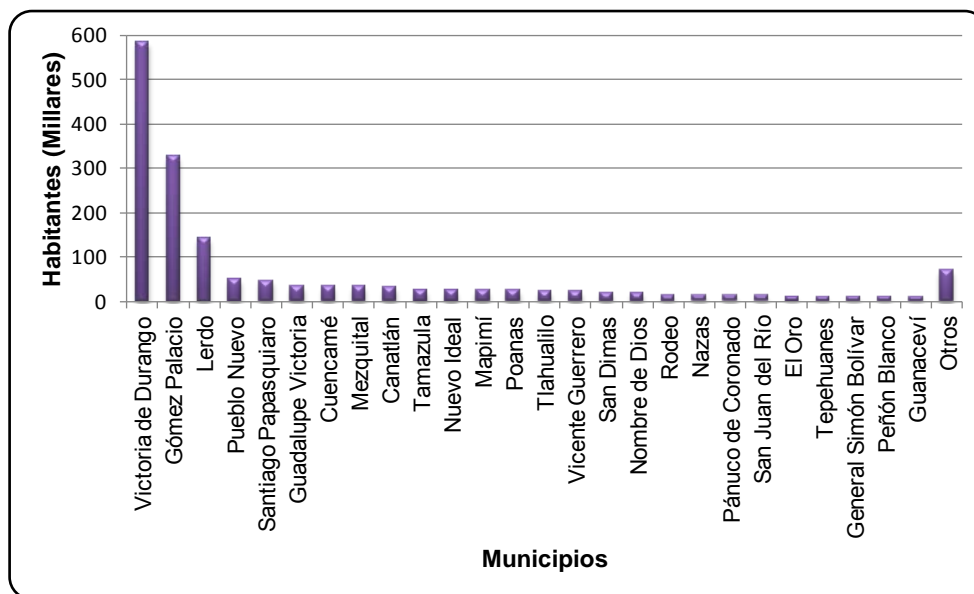


Figura 1.9 Distribución poblacional en los municipios del estado de Durango con más de 10 mil habitantes.

Fuente: INEGI (2010). Construido a partir de datos del Censo Poblacional 2010.

La tasa de crecimiento promedio por década (TCPD) es del 19.36% tal y como se muestra en la Tabla 1.4 que presenta el crecimiento poblacional del estado desde 1921 a 2010. En la Figura 1.10 se puede observar el crecimiento poblacional según los censos decadales desde 1921 hasta 2010.

Tabla 1.4 Crecimiento poblacional del estado de Durango		
Periodo	Población	Tasa de crecimiento promedio por década (TCPD)
1921	336,766	-----
1930	404,364	20.07
1940	483,829	19.65
1950	629,874	30.19
1960	760,836	20.79
1970	939,208	23.44
1980	1,182,320	25.88
1990	1,349,378	14.13
2000	1,448,661	7.36
2010	1,632,934	12.72

Fuente: INEGI. Para el periodo desde 1921 a 2010. Censos de Población y Vivienda por décadas.

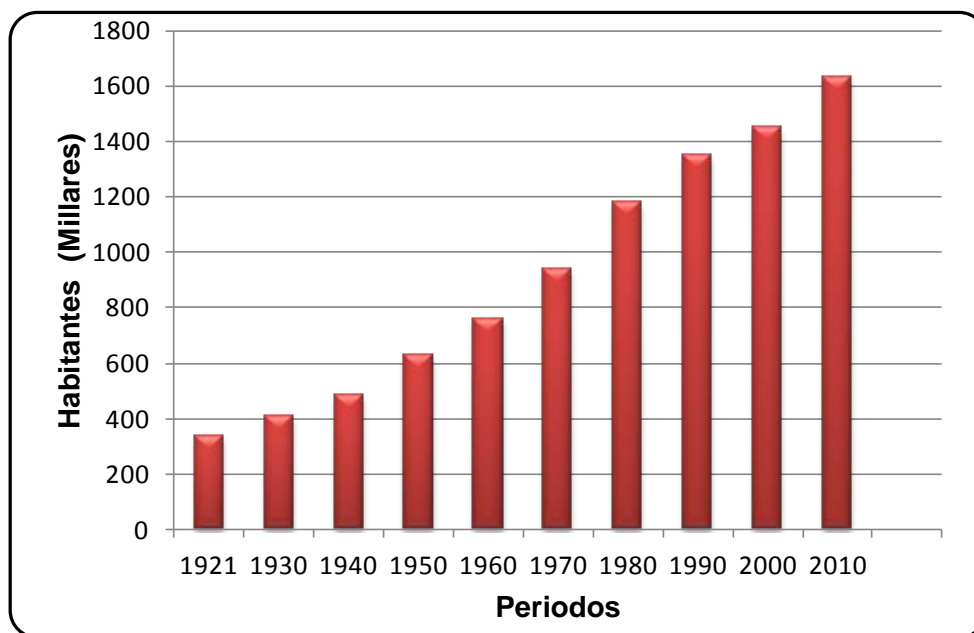


Figura 1.10 Crecimiento poblacional del estado de Durango.

Fuente: INEGI. Para el periodo desde 1921 a 2010. Censos de Población y Vivienda por décadas.

La distribución por género en el estado de Durango se presenta en la Figura 1.11 en donde puede visualizarse que los censos revelan mayoría de mujeres en donde el 48.6% son hombres y el 51.4% son mujeres.

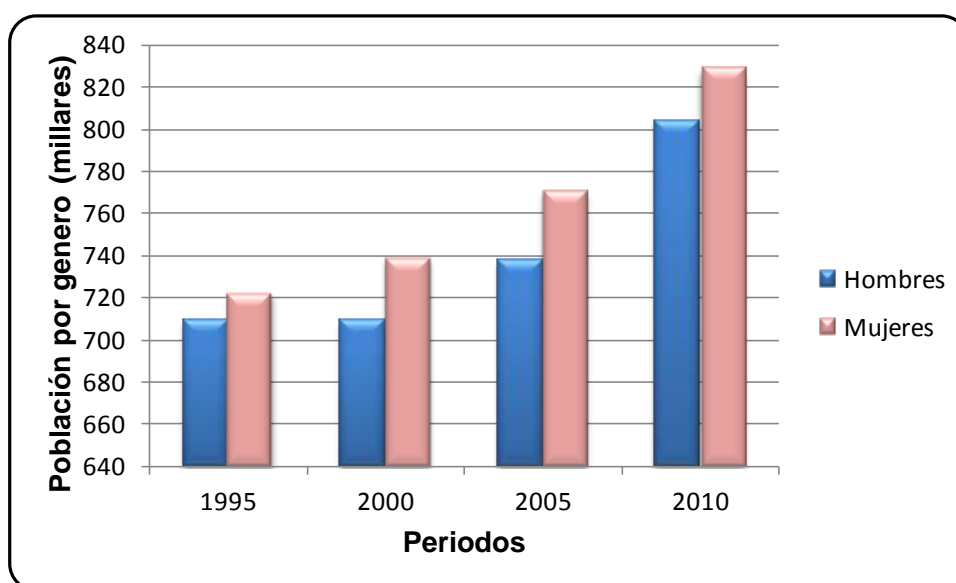


Figura 1.11 Cambio decadal de la población por género de 1995-2010 en el estado de Durango.

Fuente: INEGI. Censo y Censo de Población y Vivienda: 1995, 2000, 2005 y 2010.

1.2.2 Economía

El Producto Interno Bruto (PIB) es un indicador que muestra el valor total de los bienes y servicios finales producidos por el estado durante un tiempo definido. La tasa media de crecimiento económico anual para el estado de Durango fue del 6.63%, en el periodo 2005-2008, lo que estableció una economía sólida como se muestra en la Figura 1.12. La mayor participación económica sectorial en el estado, ha recaído en la industria manufacturera, comercio y agricultura; por ejemplo; para el 2008, la participación fue 21.24%, 14.78%, 12.28%, respectivamente tal y como puede observar en la Tabla 1.5.

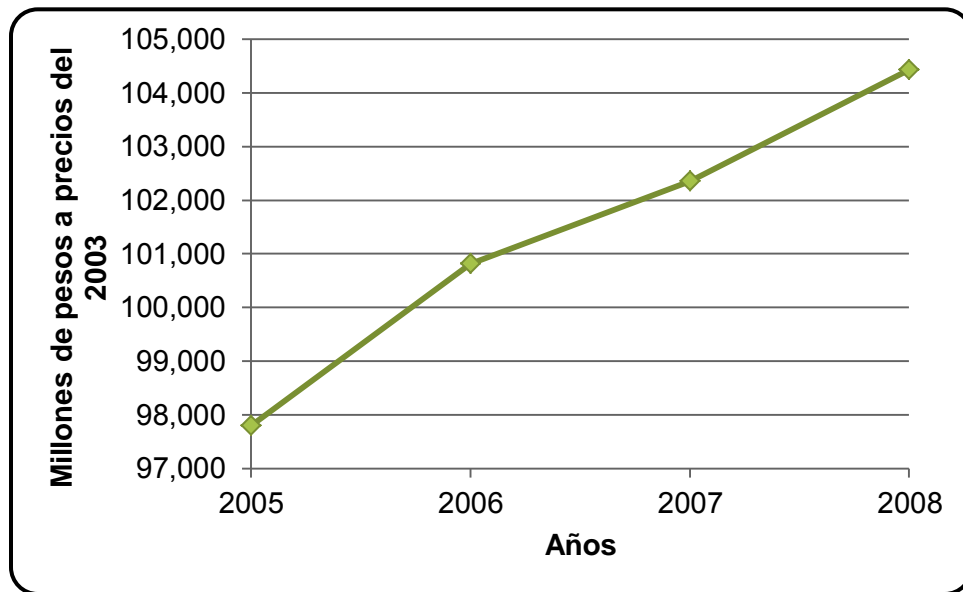


Figura 1.12 Crecimiento del PIB del estado de Durango

La participación económica del estado a la economía nacional en el 2008 fue del 1.23%, haciéndose notar que la parte agropecuaria contribuyó con el 3.94% tal y como se muestra en la Tabla 1.6.

Tabla 1.5 Participación económica sectorial al PIB del estado de Durango en Millones de pesos a precios del 2003

Sector/Año	2005	2006	2007	2008
✓ Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	12,027.26	12,851.12	13,476.04	12,828.97
<i>Contribución sectorial (%)</i>	12.30	12.75	13.17	12.28
✓ Minería	2,421.73	2,625.31	2,570.68	2,219.56
<i>Contribución sectorial (%)</i>	2.48	2.60	2.51	2.13
✓ Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	2,367.82	2,784.26	2,100.35	1,910.41
<i>Contribución sectorial (%)</i>	2.42	2.76	2.05	1.83
✓ Construcción	5,768.63	5,410.30	5,399.71	6,568.79
<i>Contribución sectorial (%)</i>	5.90	5.37	5.28	6.29
✓ Industrias manufactureras	22,115.12	21,873.83	21,413.56	22,177.07
<i>Contribución sectorial (%)</i>	22.61	21.70	20.92	21.24
✓ Comercio	13,358.76	14,041.02	15,055.90	15,436.51
<i>Contribución sectorial (%)</i>	13.66	13.93	14.71	14.78
✓ Otros	39,744.04	41,223.17	42,337.75	43,288.81
<i>Contribución sectorial (%)</i>	40.64	40.89	41.36	41.45
Total	97,803.34	100,809.01	102,353.99	104,430.11

INEGI 2010. Anuario estadístico de Durango. Edición: 2010, Cobertura temporal: 2009, Desglose geográfico: No especificado, ISSN: 0188-864, Formato: Electrónico.

Tabla 1.6 Participación económica del estado respecto al nacional para el año 2008

SECTOR ECONÓMICO	Producto interno bruto en el estado (Millones de pesos a precios de 2003)	Producto interno bruto nacional (Millones de pesos a precios de 2003)	Participación respecto al total nacional (%)
Agricultura, Ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	12,828.97	325,495.85	3.94
Minería	2,219.56	446,138.91	0.50
Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	1,910.41	114,873.19	1.66
Construcción	6,568.79	588,363.11	1.12
Industrias manufactureras	22,177.07	1,548,933.28	1.43
Comercio	15,436.51	1,396,400.93	1.11
Otros	43,288.81	4,061,241.58	1.07
Total	104,430.11	8,481,446.85	1.23

INEGI, 2010. Anuario estadístico de Durango. Edición: 2010, Cobertura temporal: 2009, Desglose geográfico: No especificado, ISSN: 0188-864, Formato: Electrónico.

1.3. Problemática del Cambio Climático

Los problemas ambientales que hoy en día enfrentamos como sociedad son evidentes y estos se derivan, entre muchas otras cosas, por el acelerado crecimiento poblacional y la excesiva demanda de bienes y servicios; reflejándose en la sobre explotación de los recursos naturales. Las actividades antropogénicas han ocasionado un incremento sin precedentes, durante el último siglo, de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC's), Perfluorocarbonos (PFC's) y Hexafluoruro de azufre (SF₆) en la atmósfera de nuestro planeta, trayendo como resultado el aumento de la temperatura de la Tierra y la variabilidad climática regional que esto conlleva. Dentro de las actividades antropogénicas destacan la deforestación, el uso indiscriminado de combustibles fósiles (gasolina, diesel, petróleo, carbón, etc.), la generación de residuos sólidos y líquidos, las actividades agropecuarias, el cambio y uso de suelo, la industria de transformación, que entre otras, son las fuentes principales de generación de los GEI.

Innumerable información ha sido reportada a la fecha sobre Cambio Climático y su diferencia y relación con el Calentamiento Global. El Calentamiento Global se asocia al aumento de la temperatura promedio del planeta, la cual está vinculada de manera directa con el aumento en la concentración de GEI en la atmósfera. Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al Cambio Climático como el *“cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”*.

En 1988 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) constituyeron el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, por sus siglas en inglés). El IPCC propuso y de manera periódica actualiza las metodologías para estimar el inventario de emisiones GEI que permitieran conocer la contribución de los países al contexto internacional.

En el año de 1998 y por acuerdo internacional se aprobó, en el Protocolo de Kioto (UN, 1996; SEMARNAT, 2007) de la CMNUCC, una serie de medidas centradas en el objetivo

de controlar las emisiones de seis de los GEI debido a su impacto en el Calentamiento Global siendo éstos: Bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluoruros de carbono (HFC's), perfluoruros de carbono (PFC's) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las Partes incluidas en el Anexo I, de acuerdo al Artículo 3 del protocolo, se asegurarán, individual o conjuntamente, de que sus emisiones antropógenas agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, de que los GEI no excedan de las cantidades atribuidas a ellas, calculadas en función de los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones consignados para ellas y de conformidad con lo dispuesto en el presente artículo, con miras a reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012.

México como Parte No Anexo I de la CMNUCC, a través de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) organiza múltiples actividades relacionadas con el tema del Cambio Climático. Algunas de estas actividades se encaminan al conocimiento del problema, sus causas y consecuencias, y otras al diseño y análisis de políticas para mitigarlo o adaptarse a éste. Entre ellas, existen esfuerzos de colaboración bilateral que México ha establecido con numerosos países, además de actividades multilaterales.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó en diciembre de 2009 (INE, 2007), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 – 2006 (INEGEI). Además, México es el único país en desarrollo que a la fecha ha presentado cinco Comunicaciones Nacionales y actualizado su INEGEI, cumpliendo con los lineamientos y metodologías establecidas por el IPCC.

En el 2005 se conformó la Comisión intersecretarial de Cambio Climático (CICC) que fue creada con el objeto de coordinar, en el ámbito de sus respectivas competencias, las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para prevención y mitigación de emisiones de GEI, a la adaptación frente a los efectos del Cambio Climático y, en general, para promover el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en CMNUCC y los demás instrumentos derivados de ella, particularmente el Protocolo de Kioto.

A nivel estatal, el INE-SEMARNAT fomenta y apoya la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) por parte de instituciones estatales, cuyo cometido es valorar el estado actual en materia de emisiones/captura de los gases efecto invernadero, evaluar la vulnerabilidad sectorial ante el Cambio Climático y definir acciones de mitigación para reducir las emisiones de GEI y establecer acciones de adaptación que reduzcan el impacto de los eventos meteorológicos extremos.

En el 2010 se inició al Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Durango (Durango) que considera tres ejes temáticos 1) Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) y Medidas de Mitigación 2) Vulnerabilidad y Adaptación 3) Escenarios Climáticos y Escenarios de Emisiones de GEI.

El Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) es un componente fundamental de cualquier Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) y representa el punto de partida en la valoración del estado que guarda en cuanto a emisión y captura por fuente (sectores económicos). Como consecuencia de ello es posible identificar áreas de oportunidad en relación a las medidas de mitigación y co-beneficios que se pueden proponer y adoptar con la finalidad de mejorar el balance (captura-emisión) mediante la reducción de emisiones.

En el IEEGEI, evaluado de acuerdo al procedimiento de cálculo de las directrices del IPCC (INE, 1996), se consideraron los siguientes gases directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), además también se estimaron las emisiones de los Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVDM), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), y bióxido de azufre (SO_2).

Respecto al segundo eje temático, Vulnerabilidad y Adaptación, en base a la matriz de amenaza-riesgo se identificaron los sectores más vulnerables en el estado, se realizaron seis estudios específicos sectoriales como evidencia del impacto que el Cambio Climático conlleva. Además se proponen una serie de medidas de adaptación al Cambio Climático a nivel sectorial con el objeto de disminuir la vulnerabilidad de los sectores y sus impactos económicos, sociales, ecológicos y humanos negativos.

En cuanto al tercer eje temático, Escenarios Climáticos y Escenarios de emisiones de GEI, se desarrollaron los escenarios climáticos regionalizados del estado tanto histórico como

futuro, para los periodos 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099, de datos extremos de precipitación (Pp) y Temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin). Respecto a los escenarios de emisiones de GEI, se determinó el escenario base de emisiones de GEI, los escenarios alternos futuros para el periodo 2005-2030 considerando medidas de mitigación, además de escenarios de requerimientos energético futuro. Los escenarios de emisiones fueron desarrollados mediante el software LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System), (COMMEND, 2012).

CAPÍTULO II

**INVENTARIO ESTATAL DE
EMISIONES DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO DE
DURANGO
(IEEGEI-Durango)**

2.1 Metodología de cálculo de emisiones de GEI

La metodología empleada en la elaboración del Inventario Estatal de Emisiones de GEI es similar a la recomendada para los inventarios nacionales de los países no Anexo I, las decisiones tomadas por la Conferencia de las Partes (COP) recomendaron adoptar las buenas prácticas, dada la necesidad de mejorar la transparencia, consistencia, comparabilidad, exhaustividad y exactitud de los inventarios de estos Países (UNFCCC-COP, 2003). Por otra parte, un análisis comparativo realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), destaca la variedad de problemas que tienen los inventarios de países no-Anexo I, que hasta ahora impiden contar con inventarios consistentes y comparables, y concluye con la importancia de contar con un sistema continuo para la elaboración y actualización de inventarios, así como con la necesidad de documentar la elaboración de los inventario y proporcionar las hojas de cálculo originales (OCDE, 2003).

El cálculo del inventario estatal de emisiones de gases efecto invernadero (IEEGEI) se realizó de acuerdo al Manual de Directrices del IPCC (INE, 1996) y usando las hojas de cálculo (UNFCCC 2005-6) para Países no-Anexo I, Versión 1.3.2, 2005. Se inventariaron las cinco categorías recomendadas en las Directrices para los años 2005-2008, estas están descritas en la Tabla 2.1.

En el Manual de Directrices se consideran los gases de efecto invernadero directos a: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O); los de efecto invernadero indirectos son: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes de metano (COVDM), halocarburos (HFC y PFC), hexafluoruro de azufre (SF_6) y bióxido de azufre (SO_2).

En el IEEGEI-Durango se le dio énfasis a los gases directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O); aunque también se estimaron las emisiones de los indirectos como son: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes de metano (COVDM) y bióxido de azufre (SO_2).

Tabla 2.1 Categorías y Subcategorías del IEEGEI

I. Categoría Energía		II. Categoría Procesos Industriales y Solventes	
I.1 Actividades con Quema de Combustibles		II.1 Procesos Industriales	
I.1.1 Industrias de la Energía		II.1.1 Productos Minerales	
I.1.2 Industrias de Manufactura y Construcción		II.1.2 Industria Química	
I.1.3 Transporte		II.1.3 Producción de Metales	
I.1.4 Otros Sectores		II.1.4 Producción de Halocarburo y Hexafloruro de Azufre	
I.2 Emisiones Fugitivas de Combustibles		II.1.5 Consumo de Halocarburo y Hexafloruro de Azufre	
I.2.1 Combustibles Sólidos		II.2 Uso de Solventes y Otros Productos	
I.2.2 Gas Natural y Petróleo		II.2.1 Aplicación de Pinturas	
I.3 Otras Fuentes		II.2.2 Desgrasado y Limpieza en Seco	
I.3.1 Bunkers Internacionales		II.2.3 Productos Químicos, Manufactura y Procesamiento	
I.3.1 Emisiones de Biomasa			
III. Categoría Agricultura		IV. Categoría USCUSyS	
III.1 Fermentación Entérica		IV.1 Cambio de Uso de Suelo y Bosque	
III.2 Manejo de Estiércol		IV.1.1 Cambio en Bosque y Otra Biomasa Maderable	
III.3 Cultivo de Arroz		IV.1.2 Conversión de Bosques y Pastizales	
III.4 Suelos Agrícolas		IV.1.3 Abandono de suelos cultivados	
III.5 Quema Programada de Pastizales		IV.1.4 Emisión/remoción de CO ₂ del Suelo	
III.6 Quema de Residuos Agrícolas		IV.2 Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Forestal	
		IV.2.1 Tierra de Bosque	
		IV.2.2 Tierra de Cultivo	
		IV.2.3 Tierra de Pastizales	
		IV.2.4 Tierra de Humedales	
		IV.2.5 Tierra de Asentamientos	
V. Categoría Residuos			
V.1 Disposición de Residuos Sólidos en el Suelo			
V.2 Manejo de Aguas Residuales			
V.3 Incineración de Residuos			

El reporte final se expresa en Gg de CO₂ eq. Los potenciales de calentamiento empleados para convertir las emisiones de GEI en unidades de CO₂ equivalente fueron: para el CO₂ igual a 1, para el CH₄ igual a 21 y para el N₂O igual a 310 (UNFCCC, 2004). Los detalles metodológicos específicos se encuentran en el documento del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Durango (IEEGEI-Durango, 2012).

2.2 Emisiones de GEI por categorías del estado de Durango

En la categoría Energía el consumo de combustible anualizado se ha incrementado, en el año 2005 se consumieron 136.47 Petajoules (PJ) mientras que en el 2008 fueron 195.35 PJ, lo que representa un aumento del 43.16 % en tan solo tres años. Comparativamente con el Balance Nacional de Energía (SENER, 2005), en el 2005 el estado contribuyó con el 1.85 % de la energía total consumida en el país (7,365.0 PJ). Para ese mismo año, el cálculo de consumo energético en el estado arrojó que la subcategoría Industrias de la Energía consumió 58.34 PJ, lo que representa una contribución del 42.75 %, seguida de Transporte con 49.67 PJ, equivalente al 36.40 %, estos resultados se constatan en el gráfico de la Figura 2.1.

Las emisiones de GEI en la categoría Energía para 2005 fue de 9,203.23 Gg de CO₂ eq., mientras que para el 2008 fue de 13,149.39, un aumento del 42.88%, es decir una TCA promedio de 12.89%. En el gráfico de la Figura 2.2 podemos observar las emisiones de GEI anuales de la categoría Energía. El análisis acumulativo de incertidumbre demostró que el inventario de emisiones de GEI de la categoría tiene una incertidumbre de ± 2.9 %.

Para la categoría de Procesos Industriales y Solventes (PI&S) se destaca que el estado cuenta con poca industria manufacturera y la escasa disponibilidad de información desagregada, únicamente se reporta lo que se pudo cuantificar de procesos industriales ya que no se cuenta con información de uso de solventes en el periodo evaluado (2005 al 2008). Se tomó en cuenta como principal subcategoría la industria de los minerales y la industria de los metales. Para el 2005, la categoría PI&S emitió 914.72 Gg de CO₂ eq. y para el 2008 fue de 779.53 Gg de CO₂ eq., lo que representa un decremento del 14.78%. Ver el gráfico de la Figura 2.3.

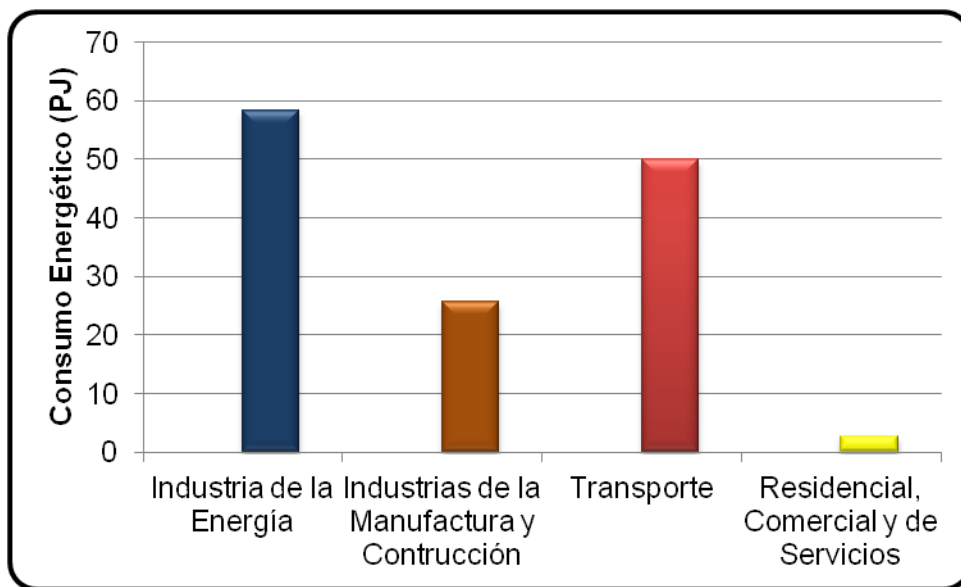


Figura 2.1 Consumo energético en el 2005 para el estado de Durango (estos valores no incluyen energía eléctrica)

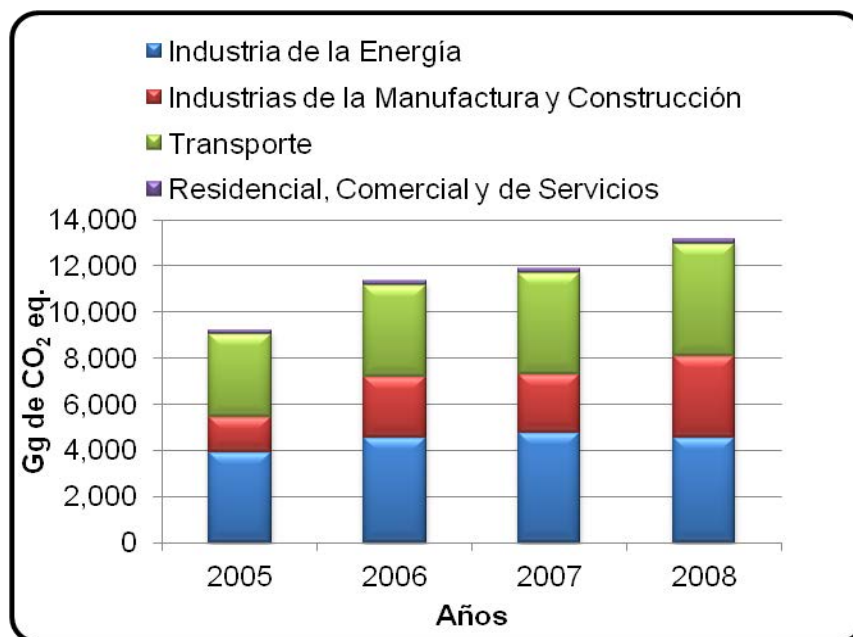


Figura 2.2 Emisión anual de GEI para la categoría Energía de Durango

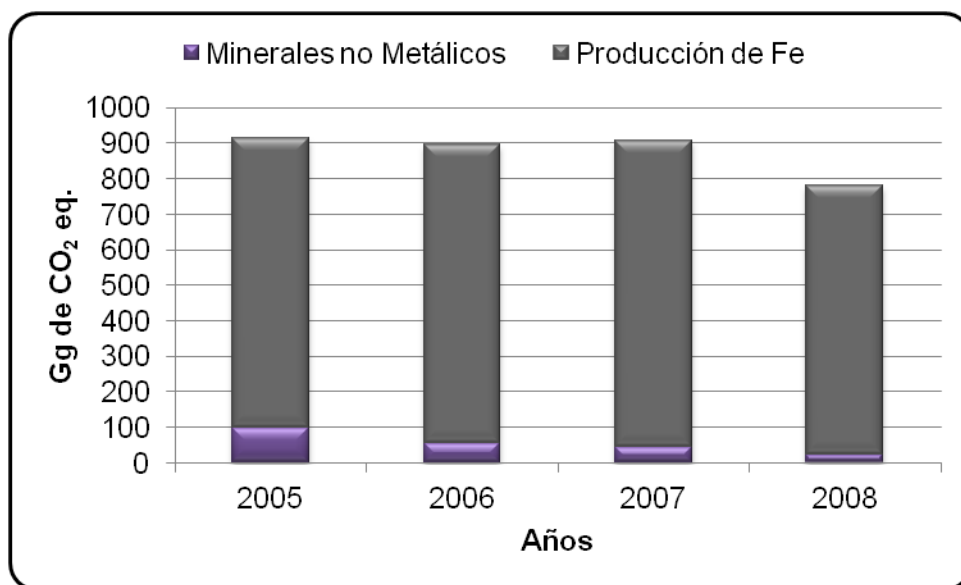


Figura 2.3 Emisión anual de GEI para la categoría PI&S de Durango

En cuanto a la categoría Agricultura se determinó la cantidad emitida de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), la cual fue convertida a Gg de CO_2 eq. Así, en el 2005 esta categoría emitió 2,638.31 y para el 2008 la emisión fue de 2,600.08, lo que representa una TCA promedio decreciente de 0.45%. La subcategoría ganadería contribuye mayormente con emisiones de metano mientras que la subcategoría agrícola con la emisión de óxido nitroso, aunque ambos gases se encuentran presentes en las dos subcategorías. Las emisiones anualizadas pueden verse en la gráfica de la Figura 2.4.

La categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS) en su balance de emisión-captura, en Gg de CO_2 eq., arrojó una emisión total de 4,279.18 y una captura total de -4,007.01 obteniéndose un balance de 272.17. Dada las condiciones especiales de información de la categoría se evaluó todo el periodo, aunque el cálculo se reporta para el año 2008. La Figura 2.5 muestra el balance de emisión y captura de esta categoría.

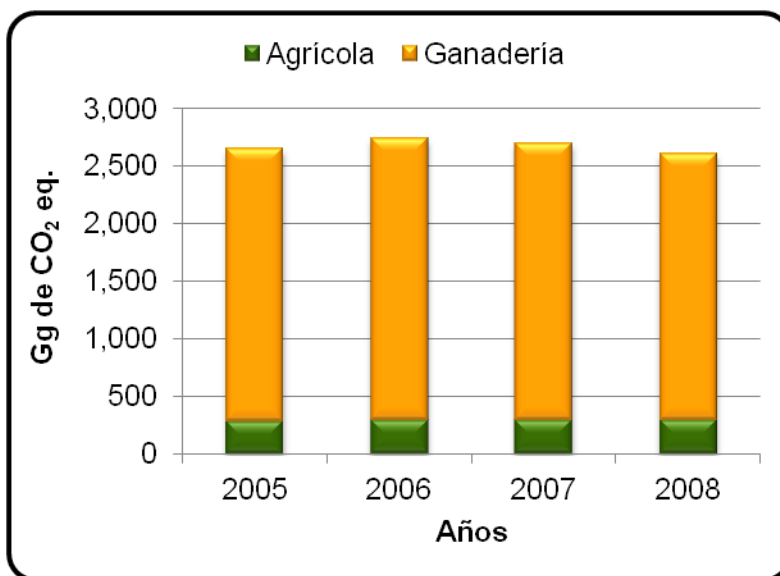


Figura 2.4 Emisión anual de GEI para la categoría Agricultura de Durango

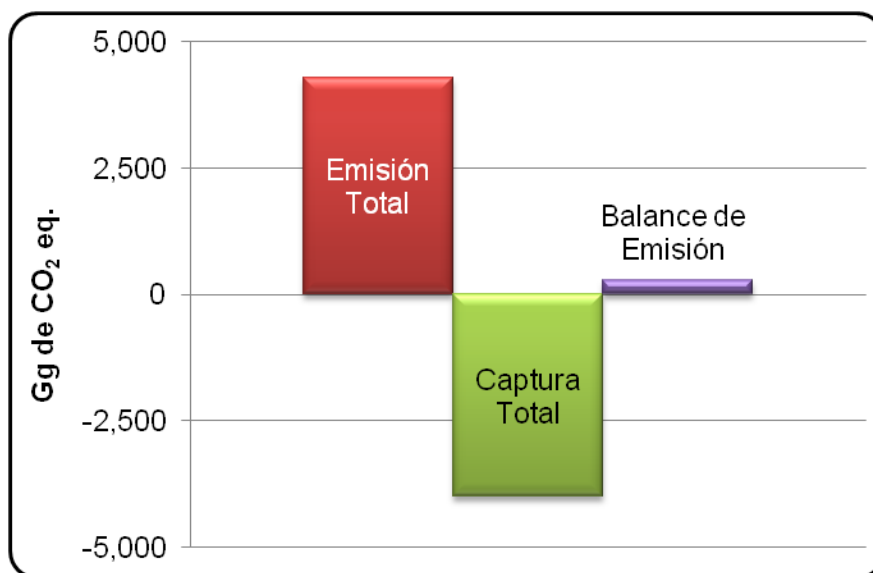


Figura 2.5 Emisión-captura del periodo 2005-2008 de la categoría USCUSyS de Durango

La categoría de Desechos se constituye por las subcategorías de residuos sólidos y aguas residuales, que a su vez están integradas por las subcategorías de segundo orden de rellenos sanitarios controlados y tiraderos a cielo abierto y por aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, respectivamente. En el 2005 la categoría

emitió 717.27 Gg de CO₂ eq. y para el 2008 la emisión fue de 752.18 Gg de CO₂ eq., aunque existió una disminución de emisiones para el 2006, en todo periodo se obtuvo una TCA promedio de 2.27%. La gráfica de la Figura 2.6 muestra la tendencia de emisiones en la categoría.

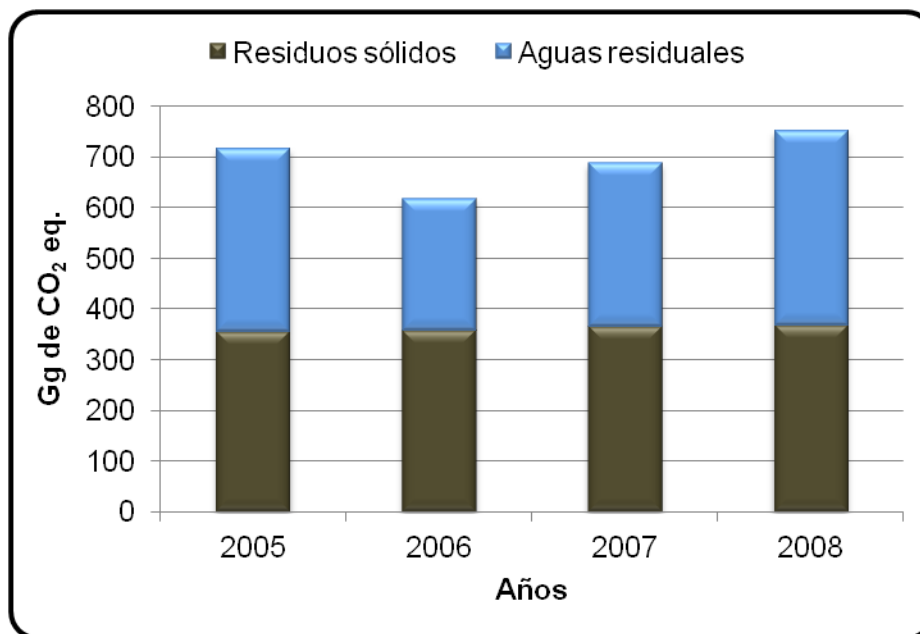


Figura 2.6 Emisión anual de GEI para la categoría Desechos de Durango

2.3 Emisiones de GEI totales del estado de Durango

El inventario estatal de emisiones de gases efecto invernadero de Durango (IEEGE-Durango) fue evaluado siguiendo las directrices del IPCC 1996, y exclusivamente para USCUSyS se procedió de acuerdo al IPCC 2003. Se consideraron las 5 categorías recomendadas y en cada una de éstas se reporta sus datos de actividad, metodología, incertidumbre y las emisiones estimadas anualizadas para el período 2005-2008; excepto la categoría USCUSyS que se determinó la emisión/captura para todo el periodo. Los resultados son reportados como Gigagramos de CO₂ equivalente (Gg de CO₂ eq.) y es la adición de las emisiones de los tres gases más importantes: bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La categoría con mayor contribución promedio de EMISIONES DE GEI, en el periodo, fue la de Energía, seguida de la de Agricultura.

Las EMISIONES DE GEI anualizadas, excepto USCUSyS, se pueden observar en la Tabla 2.2, en donde la tendencia de emisiones de GEI ha sido creciente desde el 2005 hasta el 2008 donde se alcanzaron emisiones totales de 17,281.12 Gg de CO₂ eq., lo que representa un aumento del 28.25%, es decir una TCA promedio del 8.77%. Gráficamente esta tendencia puede observarse en la Figura 2.7. Además, para el periodo la categoría USCUSyS alcanzó un balance de emisión-captura positivo, con un total de 272.17 Gg de CO₂ eq. En promedio para todo el periodo, la emisión total del estado fue de 15,906.19 Gg de CO₂ eq. (INEGI, 2005).

El inventario para el año 2005, en Gg de CO₂ eq., establece que las emisiones para cada una de las categorías fueron: 9,203.23 para Energía; 914.72 para Procesos Industriales y Solventes; 2,638.81 para Agricultura y 717.27 para Desechos.

Tabla 2.2 Emisiones de GEI en Gg de CO₂ eq. por categoría, año y/o periodo para el estado de Durango					
Categoría/año	2005	2006	2007	2008	Promedio
Energía	9,203.23	11,355.72	11,893.82	13,149.39	11,400.54
PI&S	914.72	897.78	907.15	779.53	874.80
Agricultura	2,638.81	2,729.08	2,691.65	2,600.08	2,664.90
Desechos	717.27	618.00	687.74	752.12	693.78
Subtotal	13,474.04	15,600.58	16,180.37	17,281.12	15,634.03
Categoría/Periodo	2005-2008				
*USCUSyS	272.17				15,906.19

*El cálculo de esta categoría únicamente se hizo para el periodo 2005-2008, aquí se presente el balance final de la categoría

La tendencia de emisiones de GEI ha sido creciente desde el 2005 hasta el 2008 donde se alcanzaron emisiones de 17,281.12 Gg de CO₂ eq., lo que representa un aumento del 28.25%, es decir una TCA promedio del 8.77%. La comparación gráfica puede verse en la Figura 2.8.

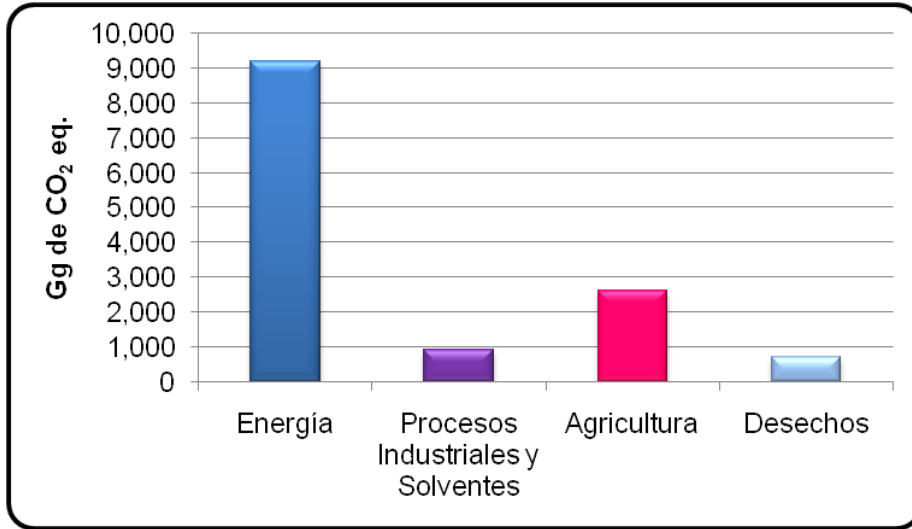


Figura 2.7 Emisiones de GEI por categoría para el estado de Durango, 2005

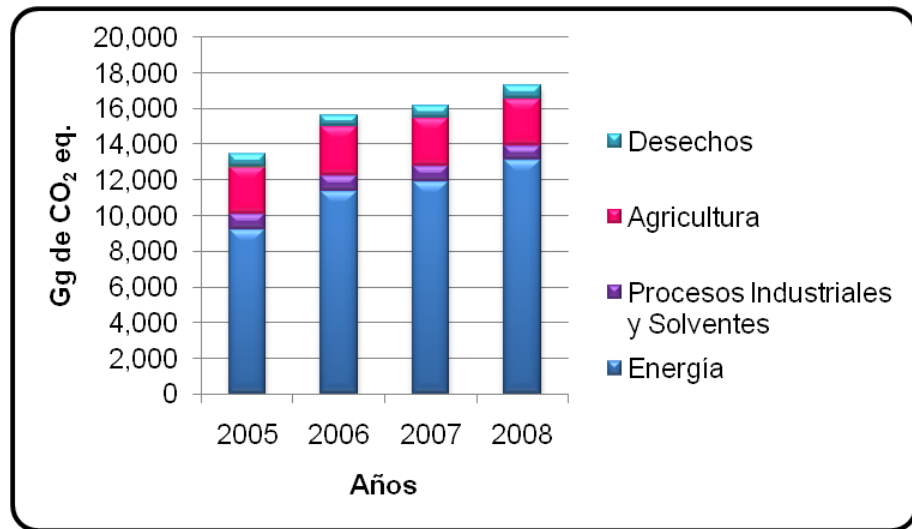


Figura 2.8 Emisiones de GEI anuales para el estado de Durango

Las emisiones totales estatales del 2006 que fueron de 15,600.58 Gg de CO₂ eq., representaron un 2.23% de las emisiones nacionales (698,764.8 Gg de CO₂ eq.) (INE, 2007), considerando únicamente los tres gases más importantes (CO₂, CH₄ y N₂O).

Dentro del procedimiento de cálculo también se estimaron las emisiones de los gases indirectos en Gg: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (NMVOC, por sus siglas en inglés) y bióxido de azufre (SO₂). La emisión más abundante fue la de CO, la cual proviene principalmente de las categorías Energía y USCUSyS; esto puede observarse en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Emisiones en Gg de otros compuestos en el estado de Durango, 2005				
Categoría/Compuesto	NO_x	CO	NMVOC	SO₂
Energía	48.721	256.414	48.409	0.433
PI&S	0.039	0.057	0.010	0.015
Agricultura	0.004	0.122	-----	-----
Desechos	0.000	0.000	0.000	0.000
Subtotal	48.764	256.593	48.420	0.448
Categoría/Periodo	2005-2008			
*USCUSyS	1.423	50.113	-----	-----

*El cálculo de esta categoría se hizo para todo el periodo, por las características de datos de actividad del mismo.

CAPÍTULO III

ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

3.1 Introducción

Este capítulo contiene dos secciones, escenarios climáticos y escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), las cuales se exponen en base a tres elementos fundamentales: teoría, metodologías empleadas y resultados. El objetivo general del capítulo es presentar las evidencias de los cambios esperados en los escenarios futuros, tanto para el clima y sus efectos locales, como las relacionadas con los escenarios de emisiones de GEI a nivel estatal consecuencia de las actividades antropogénicas basadas en el uso intensivo de combustibles fósiles.

El enfoque del presente estudio está fundamentado en los planteamientos del IPCC en donde se establece la relación entre las tendencias en las concentraciones de GEI en la atmósfera y los cambios en las principales variables climáticas como son temperatura y precipitación.

En este sentido, se considera el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) donde se proyecta un incremento de las emisiones mundiales de GEI de entre 25% y 90% (CO₂ eq.) entre el 2000 y 2030, suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta el 2030 como mínimo (IPCC, 2007).

Al respecto, es importante mencionar que las proyecciones de emisión de GEI (Figura 3.1) son utilizadas para conjeturar el Cambio Climático futuro, y sus supuestos básicos respecto de la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica son el punto de partida de numerosos estudios sobre la variabilidad del Cambio Climático y evaluaciones de impacto (IPCC, 2007; Sirohi *et al.*, 2007; Weihermüller *et al.*, 2011).

Las características que describen las líneas de tendencia que componen la Figura 3.1, en el IEE, reproducidos en el Informe del IPCC 2007 se transcriben a continuación:

Escenario A1: presupone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos, que reflejan tres direcciones

alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B).

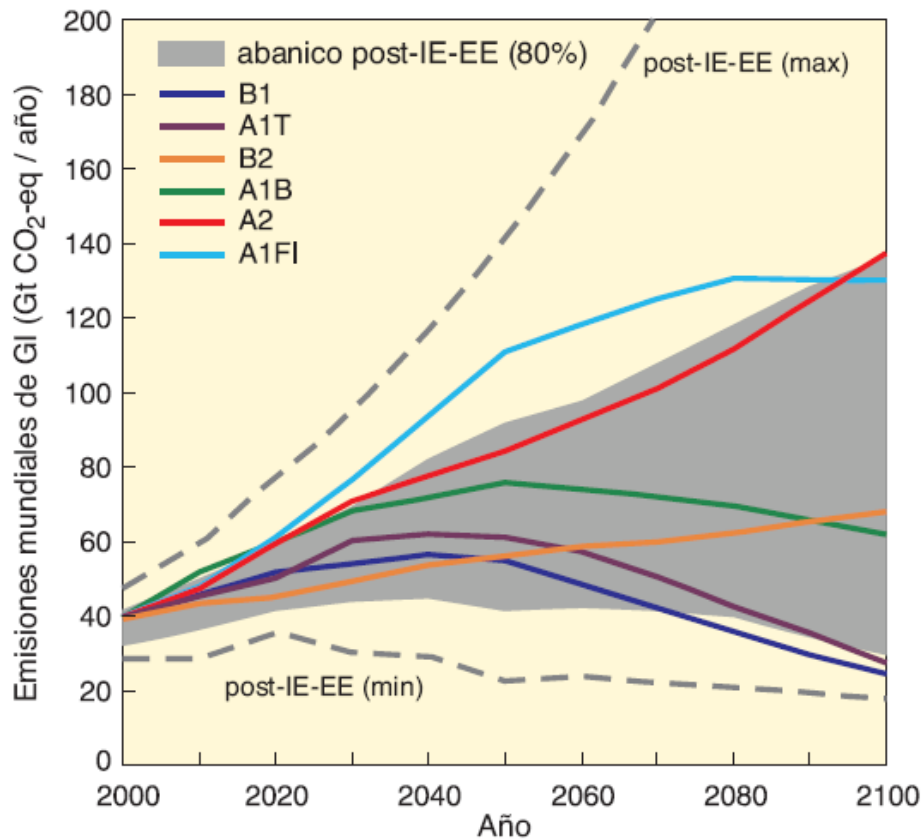


Figura 3.1 Escenarios de emisiones de GEI entre 2000-2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales de mitigación (Fuente: IPCC, 2007).

Escenario B1: describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información.

Escenario B2: describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

Escenario A2: describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.

En la presente investigación se seleccionó el escenario futuro A2 para tres periodos de tiempo: 1) A2-20 (2010-2040); 2) A2-50 (2040-2070); y 3) A2-80 (2070-2100).

Los criterios para la selección de éste escenario se apoyaron en las siguientes razones:

- ✓ **Primero**, tanto a nivel mundial como para México, el escenario futuro A2, es el más consistente con las tendencias de crecimiento socioeconómicas (SEMARNAT-SHCP, 2009);
- ✓ **Segundo**, las diferencias de las salidas de las variables climáticas extremas de precipitación máxima en 24 h (Pp), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin), en la escala regional no son significativas entre los escenarios que aplican para el País (A1B, B1, A2, COMMIT), mismas que están disponibles en el portal de la SEMARNAT-INE (<http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios/>); y
- ✓ **Tercero**, en diferentes foros académicos sobre esta temática se considera que los escenarios del IPCC para la temperatura (Tabla 3.1) han sido rebasados en buena medida considerando los eventos climatológicos registrados en años recientes (ECC, 2009).

Tabla 3.1 Estimaciones de aumento de la temperatura (°C) para finales del Siglo XXI.			
Escenario	Mejor estimación de aumento	Mínimo aumento probable	Máximo aumento probable
B1	1.8	1.1	2.9
A1T	2.4	1.4	3.8
B2	2.4	1.4	3.8
A1B	2.8	1.7	4.4
A2	3.4	2	5.4
A1FI	4	2.4	6.4

Fuente: IPCC, 2007. Op cit.

A continuación se expone de manera detallada el contenido de ambas secciones con documentos de apoyo citados en el documento e incorporados en la sección de anexos.

3.2 Escenarios climáticos

Respecto a escenarios climáticos se desarrollaron dos estudios que siguen la misma metodología descrita en esta sección, pero que difieren en el modelo de circulación global empleado (predictores). Así, los escenarios climáticos de variables extremas regionalizados emplearon la base de datos obtenido del Modelo Climático Regionalizado para México, desarrollado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, los cuales tienen una resolución de 2,500 km², cuyos nodos son equidistantes a razón de 0.5 x 0.5°, lo que equivale a 50 x 50 km; de modo que 40 de ellos corresponden a Durango. Mientras que los escenarios climáticos para variables de medias anualizadas, empleados en los estudios de vulnerabilidad, utilizaron los datos de los predictores obtenidos del Modelo de Circulación Canadiense (CGCM1, por sus siglas en inglés) desarrollado por el Centro Canadiense de Modelación y de Análisis Climático (Secciones 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4).

3.2.1 Contexto de la modelación climática

Los escenarios climáticos, a diferencia de un pronóstico o una predicción típica en los sistemas de monitoreo climático, es una descripción de un estado futuro del mundo, coherente, internamente consistente y plausible; en otras palabras, es como una serie de imágenes construidas razonablemente consistentes mediante el uso de técnicas probabilísticas con las cuales se podría ver el mundo en el futuro (IPCC, 2007; IPCC, 2010).

Los Modelos de Circulación General (MCG) son la base de la modelación del clima con efectos locales; representan los procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la criósfera¹ y la superficie terrestre. Son las herramientas disponibles más avanzadas hasta ahora para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de GEI (IPCC, 2007).

Los estudios basados en los MCG advierten que tanto las temperaturas, como el ciclo hidrológico están siendo afectados por factores exógenos y endógenos. Para los primeros

¹ La criósfera incluye partes del sistema de la Tierra en donde el agua se encuentra en forma congelada (sólida). Esto incluye: nieve, hielo marino, los icebergs, placas de hielo, glaciares, bloques de hielo y suelos de permafrost. Aproximadamente, tres cuartos del agua dulce del mundo está contenida en la criósfera (IPCC, 2007).

destaca la influencia solar, la geometría Tierra-Sol y la Difusión Estelar (Pidwirny, 2006); mientras que en los segundos se asocian a los que son propios del sistema terrestre destacando en estos: la actividad volcánica, calentamiento de los océanos, albedo atmosférico y albedo superficial (IPCC, 2007).

Estudios locales realizados advierten cambios, tanto a nivel nacional (Magaña *et al.*, 2003) como regional, que se manifiestan por diversos cambios en el clima particularmente en la precipitación y temperatura (Rivera *et al.*, 2007; García-Páez y Cruz-Medina 2009; Magaña, 2010a); por ejemplo, Magaña (2010a) sostiene que bajo un escenario de calentamiento global, El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) podría ser más frecuente e intenso, lo cual equivale a periodos más prolongados de sequía a los 25° de latitud Norte, lo que coincide geográficamente con la ubicación del estado de Durango.

En este orden de ideas, el objetivo de esta sección es evaluar la probabilidad de riesgos por la amenaza del Cambio Climático global ante vulnerabilidades locales y que esta información sirva de base para la formulación de propuestas para la adaptación al Cambio Climático que impactan en la salud humana, el ambiente y la economía.

3.2.2 Metodologías

3.2.2.1 Técnica de reducción de escala

Las técnicas de reducción de escala estadística acompañada por gráficas de representación de las variables climáticas para temperatura y precipitación son un buen recurso, sobre todo porque toma muy en cuenta los forzantes del clima a nivel local (Magaña, 2009; Magaña, 2010b).

Al respecto, Magaña (2010b) menciona que el clima a escala regional está determinado en gran medida por la topografía y el uso de suelo, que son responsables de la dinámica atmosférica de mesoescala. Cambios en el uso de suelo por ejemplo, pueden generar cambios locales del clima, al modificarse el albedo, la rugosidad y la humedad del terreno. Así, la deforestación tenderá a aumentar la cantidad de energía reflejada en la superficie afectando el balance de energía local. Al mismo tiempo, la rugosidad se verá afectada al igual que la humedad en el suelo y con ello el ciclo hidrológico. Un claro ejemplo de cómo

el cambio en el uso de suelo afecta el clima local es la urbanización explosiva, la cual tiende a generar el fenómeno conocido como Isla de Calor.

Los escenarios de Cambio Climático regional, se pueden obtener a través de técnicas de reducción de escala (*downscaling*) estadísticas o dinámicas. En las técnicas estadísticas de reducción de escala las variables del clima regional o local (*predictandos*) se obtienen generando un modelo estadístico que las relaciona con las variables de gran escala del modelo de circulación general (*predictores*) (Magaña, 2010b).

3.2.2.2 Herramientas de reducción de escala

De la gran variedad de herramientas de reducción de escala (*downscaling*), dos fueron las sugeridas por los expertos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM): LARS-WG (*Long Ashton Research Station Weather Generator*) y el SDSM (*Statistical Downscaling Method*); el primero por ser más útil para analizar datos diarios de las variables de temperatura (Tmax y Tmin), y el segundo, debido a que tiene mejores resultados para el análisis de la precipitación (Pp), debido a que presentan salidas en forma mensual, estacional y anual.

Los programas y tutoriales empleados en cada caso fueron obtenidos en forma gratuita de las siguientes direcciones electrónicas:

- ✓ LARS-WG: <http://www.iacr.bbsrc.ac.uk/mas-models/larswg.html>
- ✓ SDSM: <http://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/>

a) Uso de LARS-WG

LARS-WG como herramienta de reducción de escala elegida permitió obtener series sintéticas con características estadísticas similares a los datos observados, que tienen como origen las Estaciones Meteorológicas (EM) seleccionadas, una vez que éstas mismas fueron sometidas a procesos de análisis de calidad y homogeneidad.

El análisis del clima actual y futuro para detectar probables impactos regionales en el contexto de Cambio Climático, se llevó a cabo mediante el uso de los Modelos Climáticos Regionalizados para México (MCRM), creada por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, los cuales tienen una resolución de 2,500 km², cuyos nodos son equidistantes a razón de 0.5 x 0.5°, lo que equivale a 50 x 50 km; de modo que 40 de ellos corresponden a Durango (Figura 3.2).

a1. Procedimiento para el análisis de calidad de datos históricos

La calidad de las series sintéticas generadas con LARS-WG para representar el clima en el futuro, depende a su vez de la calidad de los datos históricos de las EM del Servicio Meteorológico Nacional (EM-SMN) empleados en el presente estudio. Los criterios recomendados (Magaña, 2010) para llevar a cabo dicha selección se basa en tres criterios:

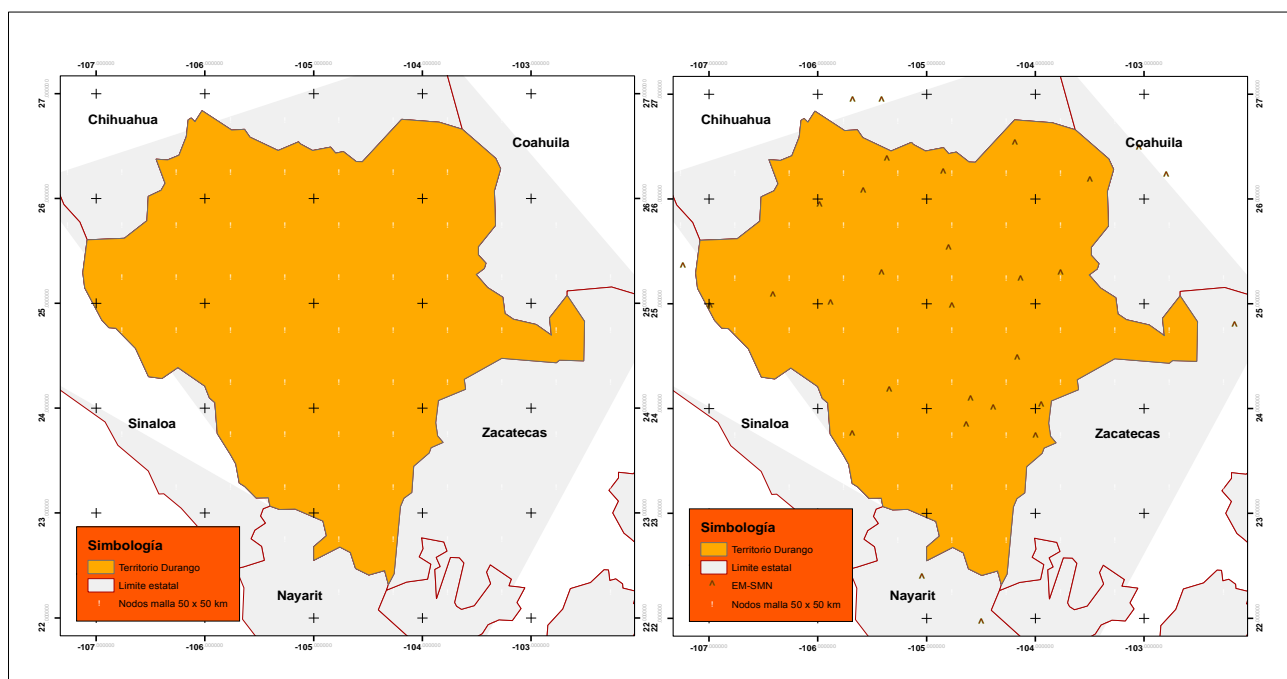


Figura 3.2 Distribución espacial de 40 Nodos que corresponden a Durango de la malla de ECRM con equidistancias de 0.5° (Izq.); y 29 Estaciones Meteorológicas seleccionadas y su relación con cada Nodo de la malla (Der.).

- 1) *Longitud de la serie.*- la longitud de la serie se refiere a los años de registro para las variables Tmax, Tmin y Pp, para lo cual, se seleccionaron las EM-SMN con al menos 30 años de datos.
- 2) *Proximidad al nodo de los MCG del SEMARNAT-INE.*- la proximidad de las EM-SMN a los Nodos de la malla de resolución de 2,500 km² (50 x 50 km) se refiere a la selección de las EM que presentan la menor distancia a Nodo.
- 3) *Calidad de datos.*- la calidad de datos es un proceso de control estadístico y gráfico para decidir que EM queda finalmente como parte del estudio.

La aplicación de estos tres criterios se ilustra gráficamente (Figura 3.3), cuya descripción es la siguiente:

- ➡ **Primer paso:** Además de la información proporcionada por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, se hizo acopio de información de las 156 EM-SMN enclavadas en el territorio duranguense, las cuales están registradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- ➡ **Segundo paso:** El análisis de las bases datos de las EM-SMN con base en su longitud (Criterio 1) y proximidad a un Nodo (Criterio 2), implicó que de las 156 EM se utilizarán solo las que tenían al menos 30 años de registro, las cuales a su vez cumplieron con el criterio 2, el cual se logró por sobreposición de mapas bajo un Sistema de Información Geográfica (SIG), empleando para ello el mapa del territorio de Durango (polígono shp) en un sistema de coordenadas cartográficas mundial (WGS84)². Como resultado de este proceso se hizo una primera selección de 39 EM-SMN.
- ➡ **Tercer paso:** Las 39 EM-SMN elegidas en primera instancia, fueron sometidas a un análisis de calidad mediante la revisión de puntual para cada variable (Criterio 3). El

² El DATUM WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System de 1984, que aplica para México y es equivalente al ITRF92; ambos empleados como sistema de proyección geográfico para México por el INEGI.

proceso consistió en detectar inconsistencias mediante la visualización de diagramas de dispersión (x,y), para lo cual se definió como variable independiente al tiempo (x) y como dependiente a una de las tres variables climáticas consideraras en el estudio (y).

- ➡ **Cuarto paso:** Finalmente se eligieron 29 EM-SMN de las cuales 21 son del estado de Durango, y con el fin de representar de mejor manera las variables que caracterizan el clima en todo el territorio se agregaron 2 de Chihuahua, 2 de Coahuila, 1 de Sinaloa, 2 de Nayarit y 1 de Zacatecas, cuya relación se muestra en la Tabla 3.2.

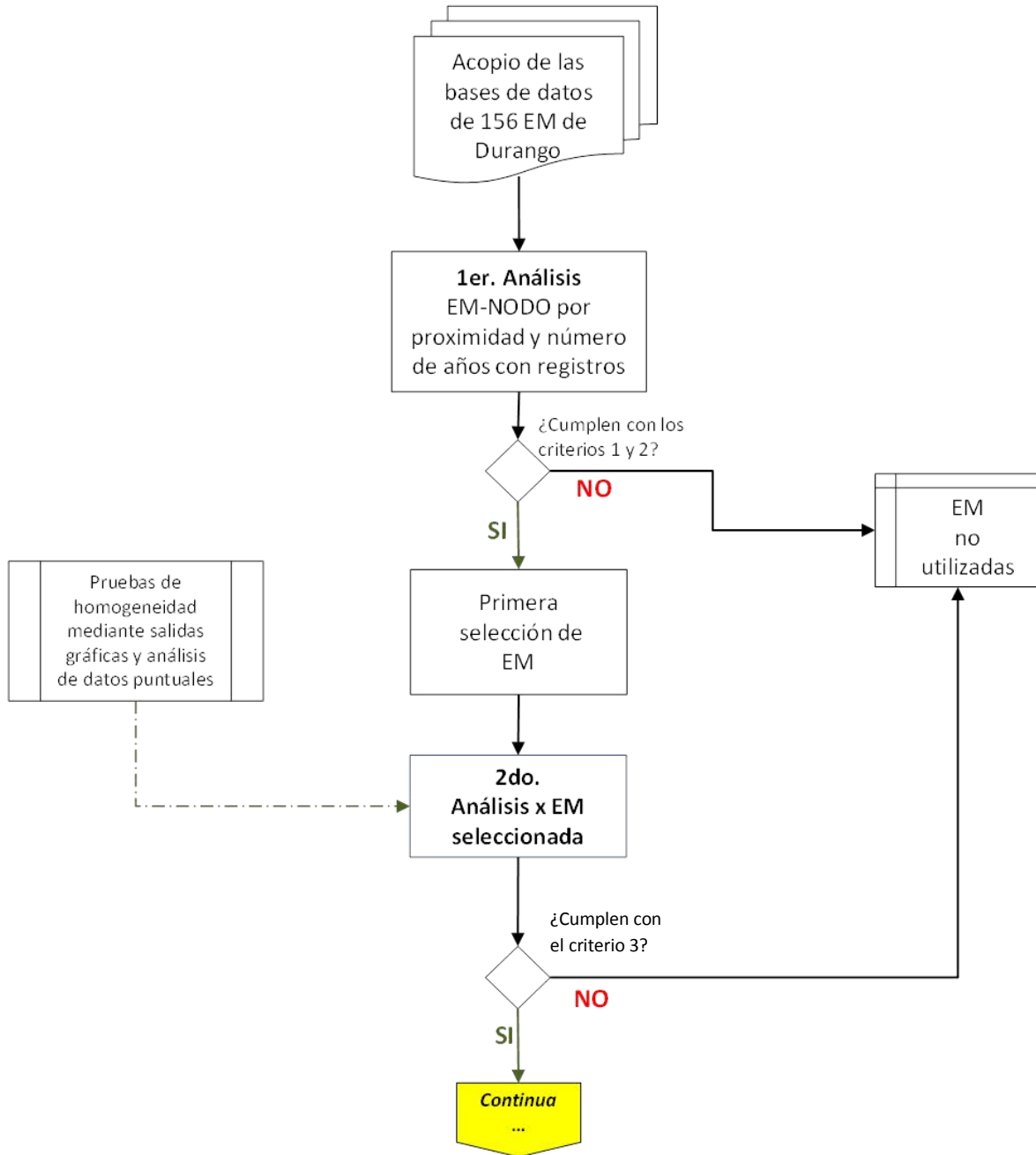


Figura 3.3 Diagrama de flujo para el control de calidad y selección de las EM-SMN para el estudio de escenario climáticos futuros (Ver detalles del método en el ANEXO 3-A Matriz de resultados).

Tabla 3.2 Estaciones Meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (EM-SMN) empleadas para el análisis climático para Durango.					
No. estación	ID estación	Nombre de la estación	Coordenadas geográficas en grados decimales		Altura, m
			x	y	z
Coahuila					
1	5159	Acatita, Fco. I Madero	-103.030	26.480	500
2	5157	San Fco. del Valle	-102.780	26.220	496
Chihuahua					
1	8151	Valle de Allende, Allende	-105.400	26.933	1960
2	8078	Hidalgo del Parral	-105.666	26.933	1661
Durango					
1	10004	Cañón Fernández, Cuencamé	-103.750	25.280	1360
2	10005	Ceballos, Mapimí	-104.170	26.520	1188
3	10085	Tlahualilo, Tlahualilo	-103.480	26.170	1096
4	10049	Nazas, Nazas	-104.120	25.230	1264
5	10094	Guanacia, Guanaceví	-105.970	25.930	2100
6	10141	Canutillo, Ocampo	-105.350	26.370	1360
7	10021	El palmito, Indé	-104.780	25.520	1630
8	10024	El saltito, Nombre de Dios	-104.370	24.000	1889
9	10030	Guadalupe Victoria (DGE)	-104.150	24.470	1892
10	10035	J. Salome Acosta	-105.400	25.280	1840
11	10047	Narciso Mendoza, Poanas	-103.930	24.020	1910
12	10054	Peña del Águila, Durango	-105.330	24.170	1896
13	10076	Santiago Bayacora	-104.620	23.830	1900
14	10078	Sardinas, San Bernardo	-105.570	26.070	1600
15	10082	Tamazula, Tamazula	-106.980	24.970	1580
16	10087	Vascogil, Canelas	-106.400	25.070	1220
17	10088	Vicente Guerrero	-103.980	23.730	1913
18	10121	Los Altares	-105.870	25.000	2490
19	10128	Villa Hidalgo (DGE)	-104.830	26.250	1750
20	10129	Coneto de Comonfort	-104.750	24.970	1135
21	10093	El Salto, Pueblo Nuevo	-105.670	23.750	2538
Nayarit					
1	18068	Pajaritos, Acaponeta	-105.030	22.383	245
2	18063	Chapalacana, Jesús María	-104.483	21.950	1018
Sinaloa					
1	25041	Guatenipa, Badiraguato	-107.230	25.350	290
Zacatecas					
1	32010	Copas, Mazapil	-102.150	24.783	2000

3.2.2.3 Análisis estadístico y generación de modelos de superficie

El análisis de los forzantes radiativos locales y los probables impactos futuros de las variables críticas consideradas Tmax, Tmin y Pp se realizó mediante la combinación de los

recursos gráficos como los mapas, funciones de distribución de probabilidad (FDP), diagramas de caja (BoxPlot), acompañadas con las salidas estadísticas no paramétricas.

3.2.2.4 Análisis estadístico. La modelación con LARS-WG y su fundamento

Como se sabe, LARS-WG es un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico (GETM) con la capacidad de simular datos diarios de variables meteorológicas con base en las características estadísticas de datos observados en un sitio, los cuales deben ser sometidos a procesos rigurosos de calidad (Magaña, 2010).

De manera que la selección de las Estaciones Meteorológicas (EM) como parte del método de reducción de escala con LARS-WG (*Long Ashton Research Station Weather Generator*), es un aspecto esencial en el proceso de generación y análisis de escenarios climáticos futuros, ya que de esto depende la calidad de los resultados (Semenov, 2008; Magaña, 2010).

La base de este GETM es la utilización de distribuciones semi-empíricas, que tiene como característica principal que combina una parte basada en teoría y una parte basada en datos obtenidos experimentalmente, para longitudes de series secas y húmedas de la precipitación diaria, así como para la radiación solar (LARS-WG, 2002).

La distribución semi-empírica $Emp = \{a_0, a_i, h_i, i=1, \dots, 10\}$ es un histograma con diez intervalos $[a_{i-1}, a_i]$, donde $a_{i-1} < a_i$ y h_i denota el número de eventos de los valores observados en el intervalo i -th. Los valores aleatorios de la distribución semi-empírica son seleccionados en una primera sección de los intervalos, utilizando la proporción de eventos en cada intervalo de una distribución uniforme. Tal distribución es flexible y puede aproximarse a una amplia variedad de formas mediante el ajuste de los intervalos $[a_{i-1}, a_i]$ (LARS-WG, 2002).

La simulación de la ocurrencia de la precipitación es modelada alternando series secas y húmedas, donde un día húmedo es definido cuando la precipitación para un día es mayor a 0 mm ($P_p > 0.0$ mm). La longitud de cada serie es seleccionada aleatoriamente de distribuciones semiempíricas para húmedas y secas para el mes en que inicia cada serie. Además, en determinadas distribuciones de las series observadas se localiza el mes en el

que inicia. Para un día húmedo el valor de la Pp es generado de la distribución semi-empírica para el mes particular independientemente de la serie húmeda o de la cantidad de la Pp en días previos (LARS-WG, 2002).

Las Tmax y Tmin diarias son consideradas como procesos aleatorios con promedios diarios y desviaciones estándar están relacionadas a las condiciones de días secos o húmedos. La técnica empleada para simular el proceso es muy similar a lo mostrado anteriormente para la Pp.

3.2.2.5 Generación de mapas de superficie. Técnicas de interpolación

En la segunda etapa del análisis (Figura 3.4.) los datos climáticos de las series históricas corregidas y las series sintéticas, obtenidas con LARS-WG, para el Escenario futuro A2 en los tres periodos antes indicados (2010-2039; 2040-2069; y 2070-2099), fueron sometidos diferentes análisis mediante el empleo de herramientas de la estadística no paramétrica con el fin de evaluar los impactos del Cambio Climático en el territorio duranguense.

Esta información se integró en una base de datos georeferenciada acorde a la ubicación de las EM-SMN mostrada en la Tabla 3.2. La variable *z* por interpolar se hizo corresponder con cada una de las variables extremas consideradas en el estudio, cuyos resultados se presentan en el ANEXO 3-A Matriz de Resultados.

Con la información integrada del ANEXO 3-A Matriz de Resultados, se elaboraron mapas o modelos de superficie mediante procesos de interpolación bajo un sistema de información geográfica, de manera que éstos pudieran asociarse a forzantes radiativos locales como son los cambios en el uso del suelo, factores topográficos.

De los numerosos métodos de interpolación existentes, se han hecho comparaciones entre varios de ellos para modelar la lluvia (Díaz *et al.*, 2008), así como de modo conjunto para lluvia y precipitación pluvial (López-Márquez *et al.*, 2001); sin embargo, aun cuando en algunos casos se hayan tenido buenos resultados como los reportados por Díaz-Padilla *et al.*, (2008) para zona de barlovento y sotavento del Golfo de México no es posible aplicar los mismo en cualquier caso, ya que la lluvia podría estar influenciada por forzantes radiativos (factores locales), y al mismo tiempo afectados por sistemas de circulación

climática regionales y globales, como lo reportados por Méndez-González *et al.*, (2008) para el territorio nacional.

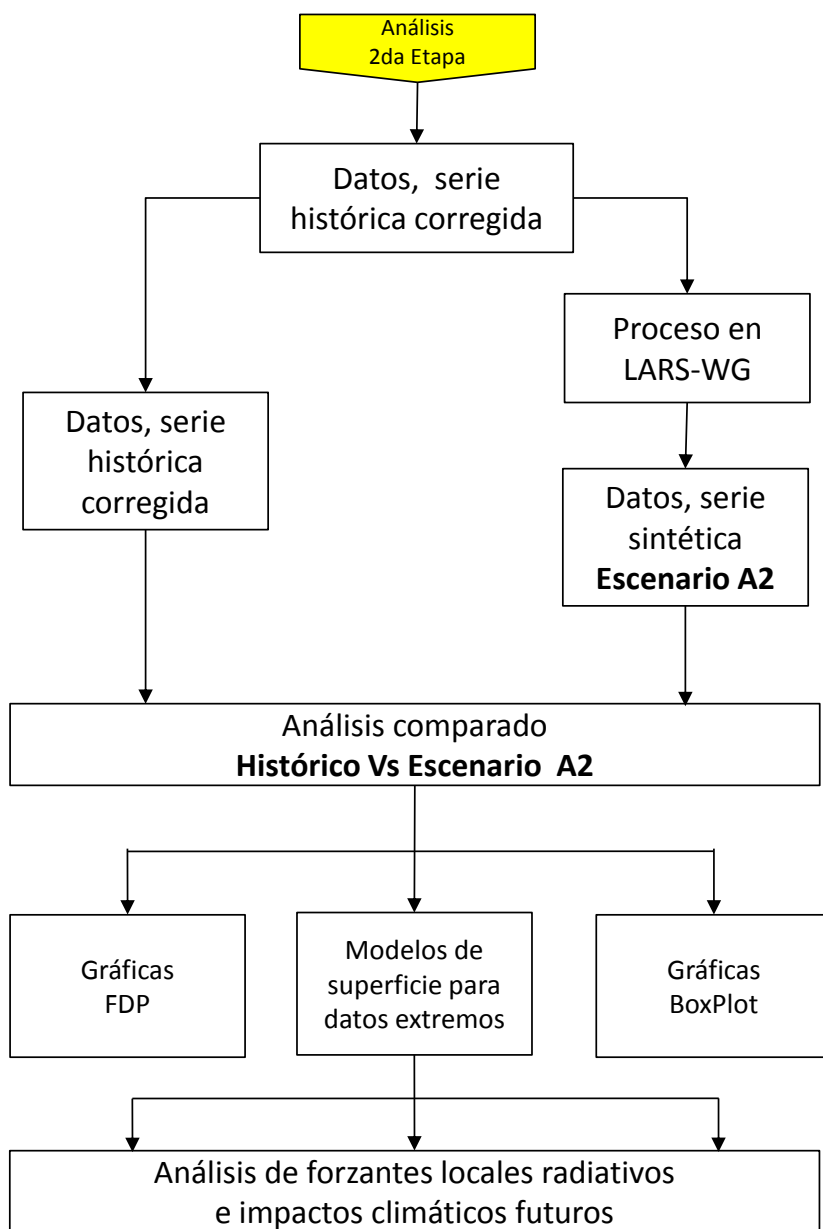


Figura 3.4 Diagrama de flujo para el análisis de la información climática procesada para la evaluación del impacto del Cambio Climático en el escenario futuro A2.

Los modelos de interpolación aplicados a las variables en el presente estudio (Tmax, Tmin y Pp) consistió en analizar el carácter de la autocorrelación espacial de la variable a interpolar, usando para ello las coordenadas geográficas de las 29 estaciones meteorológicas seleccionadas en este caso como puntos muestrales mediante el empleo de la herramienta Geoestadística en ArcGis 10, generando con ello evaluaciones cruzadas (EC) entre datos conocidos y datos calculados o de predicción con cada modelo. Con los datos “conocidos o muestreados” y las estimaciones o predicciones se realizaron evaluaciones de confiabilidad de los modelos empleados a partir del cálculo del error cuadrático y los promedios.

Las características generales de los modelos empleados en la presente investigación, Torrecilla (2008) y Díaz *et al* (2008) las describen de la siguiente forma:

a) Media ponderada por el Inverso de la distancia, IDW

El IDW asume que las variables que están más cerca son más parecidas que las que están más lejos, de tal manera que para predecir un valor de un lugar no muestral o por predecir, al utilizar los valores de los lugares más próximos al que se va a predecir tendrá más influencia y por tanto más peso que los que están más lejos, el cual disminuye con la distancia, y se expresa de la siguiente manera (Ec. 3.1):

$$Z_{(S_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z_{(S_i)} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde, $Z_{(S_0)}$ es el valor por predecir para el lugar S_0 ; N es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán considerados en la predicción; λ_i es el peso asignado a cada punto muestral por usar, los cuales decrecen con la distancia; $Z_{(S_i)}$ es el valor observado del lugar S_i .

Para determinar los pesos λ_i , se determina mediante la siguiente expresión (Ec. 3.2):

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

A medida que la distancia se hace más grande, el peso es reducido por un factor p ; es decir, que a medida que se incrementa la distancia entre los puntos observados y el punto calculado, el peso que tendrá un punto muestral sobre el predicho decrecerá exponencialmente; d_{i0} es la distancia entre el lugar de predicción S_0 y cada lugar muestral, S_i ; los pesos de los lugares utilizados para la predicción serán escalados de tal forma que su suma es 1, como se indica a continuación (Ec. 3.3):

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

El valor óptimo de p se determina haciendo mínimo el error de predicción o error cuadrático medio, que tiene la siguiente expresión (Ec 3.4):

$$EMC = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Z_{(S_i)} - z_{(S_i)})^2}{n}} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

El analizador geoestadístico utiliza potencias mayores que 1. Por defecto se usa $p=2$ que se conoce como la distancia inversa del cuadrado.

b) Funciones de base radial, FBR

Las funciones de base radial, tiene como premisa que la superficie creada debe pasar por cada punto muestral. Hay cinco FBR: Spline (SP), Spline con tensión (SPWT), Spline completamente regularizada (SPCR), función multicuadrática (FMC), y Spline multicuadrática inversa (SPMCI). Cada función de base tiene diferente forma y da como resultado una superficie de interpolación distinta; no obstante, conceptualmente son similares (Torrecilla, 2008).

La FBR es la distancia desde cada lugar al punto de predicción formándose un cono invertido sobre cada localización, cuya expresión matemática es la siguiente (Ec. 3.5):

$$\check{z}(S_0) = \sum_{n=1}^n (\omega_i * \phi(S_i - S_0)) + \omega_{n+1} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde, \emptyset es el valor de cada función que depende de la distancia de cada lugar, la cual es la suma (Σ) de multiplicar las funciones radiales, por cada punto de acuerdo a su peso; los pesos se calculan mediante la resolución de un sistema lineal de las ecuaciones siendo n el número de puntos muestrales vecinos que intervienen en el cálculo del valor no muestral.

3.2.2.6 Modelos seleccionados para el proceso de interpolación

Las EC se realizaron para siete funciones que ofrecen las técnicas: IDW (*Inverse Distance Weighted*), con potencias 2 y 3; y para cinco funciones de base radial (FBR); ambos considerados como técnicas de interpolación exacta con resultados razonablemente buenos en diversos estudios (Díaz *et al.*, 2008; Fortis-Hernández, *et al.*, 2010).

Los siete modelos antes citados (IDW: IDW2, IDW3; y FBR: Spline, SP; Spline con tensión, SPWT; Spline completamente regularizada, SPCR; función multicuadrática ,FMC; y Spline multicuadrática inversa, SPMC, fueron analizados de acuerdo a la técnica de validación cruzada o *cross-validation* (EC), descrita por Torrecilla (2008) para los procesos de interpolación en Arc Gis. Específicamente, en este estudio se emplearon los modelos IDW y SPMC.

El objetivo del empleo de este procedimiento estadístico (EC), es para garantizar que los datos de entrada o valores muestrales son independientes de los datos de salida o valores estimados, por medio de repeticiones de cálculo estadístico. Los modelos mejor evaluados, con el cuadrado medio del error más pequeño y el valor de R^2 más alto, fueron elegidos como herramienta de interpolación para cada una de las variables climáticas consideradas en el presente estudio (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Resultados de la evaluación cruzada de siete modelos analizados como opciones para la interpolación de 12 variables climáticas.

NOIM	Variable climática analizada	Modelo	CME	R ²
1	Tmin extrema histórica	IDW ⁽³⁾	4.613129	0.4931
		SP MC	5.037924	0.3889
2	Tmin extrema, Esc A2 20	IDW(opt)	4.749869	0.5123
		SP MC	5.293001	0.3989
3	Tmin extrema, Esc A2 50	IDW(opt)	4.829807	ND
		SP MC	5.383749	0.4048
4	Tmin extrema, Esc A2 80	IDW(opt)	5.007067	0.5239
		SP MC	5.571433	0.4130
5	Tmax extrema, histórica	IDW ^(1.8)	4.201129	0.0950
		SP CR	4.205460	0.0090
6	Tmax extrema, Esc A2 20	IDW(opt)	3.995783	0.2018
		SP CR	4.107853	0.1452
7	Tmax extrema, Esc A2 50	IDW	4.019141	0.1656
		SP CR	4.115260	0.1219
8	Tmax extrema, Esc A2 80	IDW(opt)	5.571723	0.0443
		SP WT	5.547447	0.0344
9	Ppmax en 24 h, histórica	IDW	52.79557	0.0177
		SP IP	49.61065	0.1377
10	Pp max en 24 h Esc A2 20	IDW(opt)	49.21989	0.0271
		SP IMC	46.38525	0.1381
11	Pp max en 24 h, Esc A2 50	IDW(opt)	51.05681	0.0181
		SP IMC	48.02859	0.1174
12	Pp max en 24 h, Esc A2 80	IDW(opt)	49.33133	0.0183
		SP IMC	46.3401	0.1200

NOIM= Número de orden en el índice de mapas interpolados; CME= Cuadrado medio del error.

3.2.2.7 Índice de Impacto del Cambio Climático (IICC)

El IICC es un valor adimensional cuyos límites podrían estar entre $(-1 \leq 0 \leq 1)$, diseñado para identificar el sentido del cambio sobre cada una de las tres variables consideradas en el presente estudio, tomando como referencia los datos históricos puntuales, así como para apoyar el análisis sobre la magnitud de los cambios cuando se aproximan a ambos límites, inferior (-1) o superior (+1) del rango; las ecuaciones que aplican en cada una de las variables climáticas se indican a continuación:

a) IICC para Tmax o Pp máxima en 24 h

La estimación de los IICC, tanto para Tmax como para Pp máxima en 24 h, tiene el mismo enfoque de análisis en cuanto al sentido y magnitud del impacto, lo cual se determina de la siguiente forma (Ec. 3.6):

$$IICC_{var} = \frac{(Esc_f - His)}{His} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde, el $IICC_{var}$, es el índice de la variable que puede ser Tmax extrema o Pp máxima en 24 h; Esc_f , es el valor de la variable a calcular, para el Escenario futuro en cualquiera de los tres periodos de tiempo considerados (A2-20; A2-50; A2-80); His , es el valor de la variable histórica.

b) Temperatura mínima extrema

Debido a que los valores de Tmin (extrema) tienen primordialmente signos negativos, el numerador de la ecuación anterior se multiplica por -1, para modificar el signo del resultado obtenido, esto con el fin de evitar confusiones sobre el sentido del impacto en esta variable (Ec. 3.7).

$$IICC_{Tmin} = \frac{[(Esc_f - His) * -1]}{His} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

De los cálculos anteriores, hay tres resultados posibles que indica el sentido del impacto sobre cada una de las tres variables (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Resultados posibles del cálculo del Índice de Impacto de Cambio Climático (IICC) e interpretación sintética por variable extrema.				
Resultado	Efecto del impacto sobre la variable	Interpretación sintética del IICC por variable		
		Tmax	Tmin	Pp máx en 24 h
Positivo (+)	Incremento (Δ)	Más calor en el verano	Menos frío en el invierno.	Más lluvias de verano
Negativo (-)	Disminución (∇)	Menos calor en el verano	Más frío en el invierno.	Menos lluvia en el verano y mayor riesgo de sequía
Igual	Sin efecto	Igual al histórico	Igual al histórico	Igual al histórico

3.3 Escenarios climáticos. Análisis y discusión de resultados

Los escenarios climáticos regionalizados para el estado de Durango fueron desarrollados para evidenciar el efecto del Cambio Climático futuro, a continuación se presentan los escenarios futuros extremos de la serie A2 para Tmax, Tmin y Pp máxima en 24 horas.

3.3.1. Temperatura máxima (Tmax). Escenario histórico Vs Escenarios A2

Los datos analizados indican que la Tmax para Durango podría tener un incremento mayor a los previsto en el escenario A2 del IPCC (Tabla 3.1), al observarse un comportamiento ascendente del histórico a los escenarios futuros en el siguiente orden en cuanto a magnitud e importancia relativa: A2-20, 2.95°C (7.11%); A2-50, 4.29°C (10.33%); A2-80, 6.14°C (14.79%).

En la Figura 3.5 se muestra la tendencia en el incremento de eventos calurosos, los cuales se identifican porque se encuentran por encima de las Tmax del histórico. Para explicar su comportamiento se definen tres grupos considerando únicamente las 21 EM-SMN enclavadas en el territorio de Durango, cuyos resultados del análisis estadístico es el siguiente:

- **Primero**, el 15.87% de los escenarios futuros presentan tendencias semejantes con respecto al histórico con diferencias mínimas, $\leq 2^{\circ}\text{C}$, lo cual significa que en cualquiera de estos se esperarían eventos de Tmax extrema parecidos a los registrados en el histórico entre 1960 y 2000.

- **Segundo**, el 52.38% de los escenarios futuros presentan tendencias por arriba del mínimo aumento probable de 2°C hasta el máximo aumento probable previsto en el escenario A2 estimado de 5.4°C por IPCC (2007), lo cual significa que se tendrán eventos con temperatura calientes por encima del histórico; es decir, las temperaturas serán más cálidas durante el verano; y

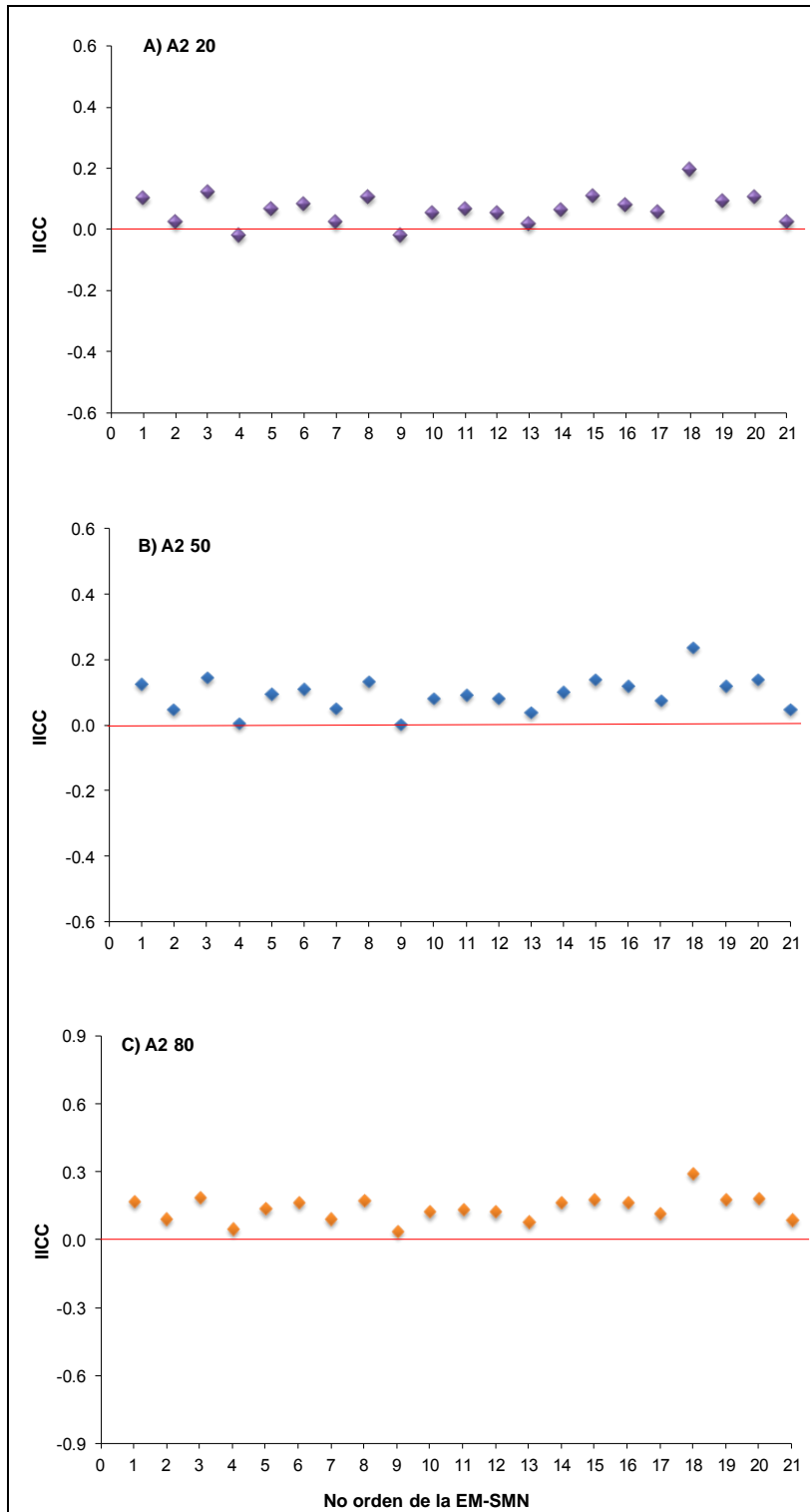


Figura 3.5 Índice de Impacto de Cambio Climático (IICC) para los escenarios futuros (A2-20, A2-50, A2-80), para la Temperatura máxima extrema. (Para detalles de ubicación y nombres de las EM-SMN, ver Tabla 3.2.)

- **Tercero**, el 31.75% de los escenarios futuros, son divergentes con el histórico, con temperaturas > 5.4 y hasta 6.4°C de diferencia, condición que las coloca por arriba del peor escenario presentado en el IEEE y publicado en 4to. Informe del IPCC (2007) en y su relación con los cambios en la temperatura del planeta. Para este caso, los eventos extremos serán mucho más cálidos durante el verano que los dos anteriores.

La distribución espacial de la Tmax (extrema) en $^{\circ}\text{C}$, tanto para el histórico (1980-2010) como para los escenarios futuros contemplados en el presente estudio, se muestran en la Figura 3.6. Según se puede observar (Figura 3.6) la Tmax (extrema) en general podría afectar la totalidad del Estado, pero el mayor impacto en el incremento de esta variable se podría presentar aproximadamente de los 24° latitud Norte, en porción Noreste del estado colindando con los estados de Chihuahua y Coahuila.

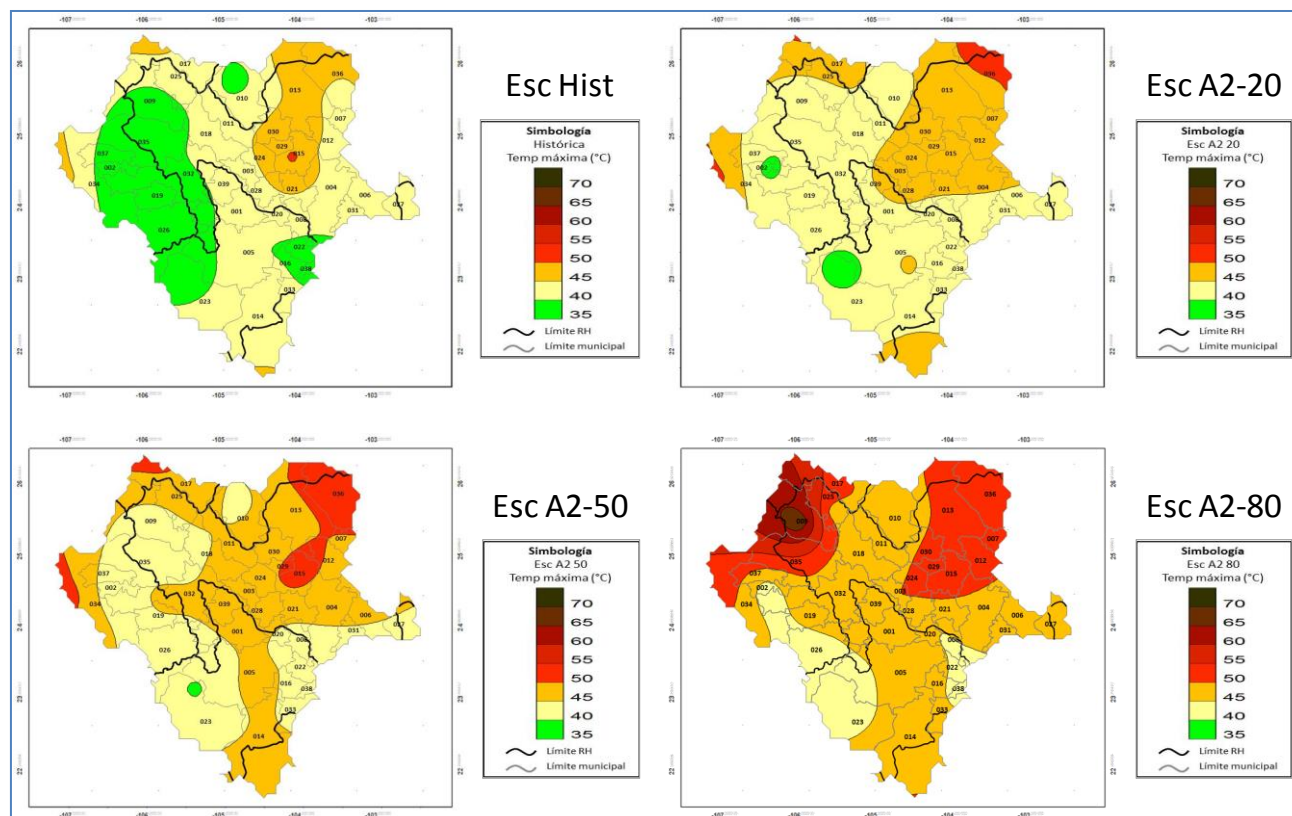


Figura 3.6 Comparación de escenarios de Temperatura Máxima Extrema en $^{\circ}\text{C}$ para el estado de Durango. (Para mayor detalle, ver ANEXO 3-B Mapas Climatológicos)

El impacto probable de la Tmax a nivel local para la Región Hidrológica (RH) ubicada entre los 24 y 26° de latitud Norte, y los municipios que se podrían ver más afectados se describe de la siguiente manera. La RH Nazas-Aguanaval, debido a su tamaño, con 52,874.36 km², que representa el 42.88%, y extensión territorial de Sur a Norte (23.5 a 26° latitud Norte, aproximadamente) y de Este a Oeste (de -103 a -106° longitud Oeste, aproximadamente), es la que podría tener los mayores impactos, para el periodo de 2060-2090 por un incremento probable de la Tmax de hasta 53.9°C, afectando en mayor medida la zona Noreste donde se encuentran los municipios de la Comarca Lagunera de Durango, destacando de todos estos en orden de magnitud del impacto los siguientes municipios: Tlahualilo, Mapimí, Gómez Palacio, Lerdo, Nazas, San Luis del Cordero, y parte de Cuencamé y San Pedro del Gallo.

En la Figura 3.7 se muestra los resultados del análisis estadístico para el caso más crítico de esta zona que se identifica como el Bolsón de Mapimí, para lo cual EM-SMN que proyecta los mayores cambios corresponde a Tlahualilo (10085: -103.44° longitud Oeste y 26.17° latitud Norte), cuya descripción es la siguiente.

En el histograma de distribución se observa una tendencia de desplazamiento hacia la derecha de la media histórica de alrededor de 30.5° hasta 33.2°C en el escenario A2-80. Asimismo, los cambios observados para la Tmax extrema en el grafico Box-Plot van desde 44°C a 52.2°C lo que representa un incremento del 18.64% del escenario A2-80 respecto al histórico. Los detalles de esta variable para las 21 EM-SMN se presentan en el ANEXO 3-C PDF-BoxPlot Tmax DGO.

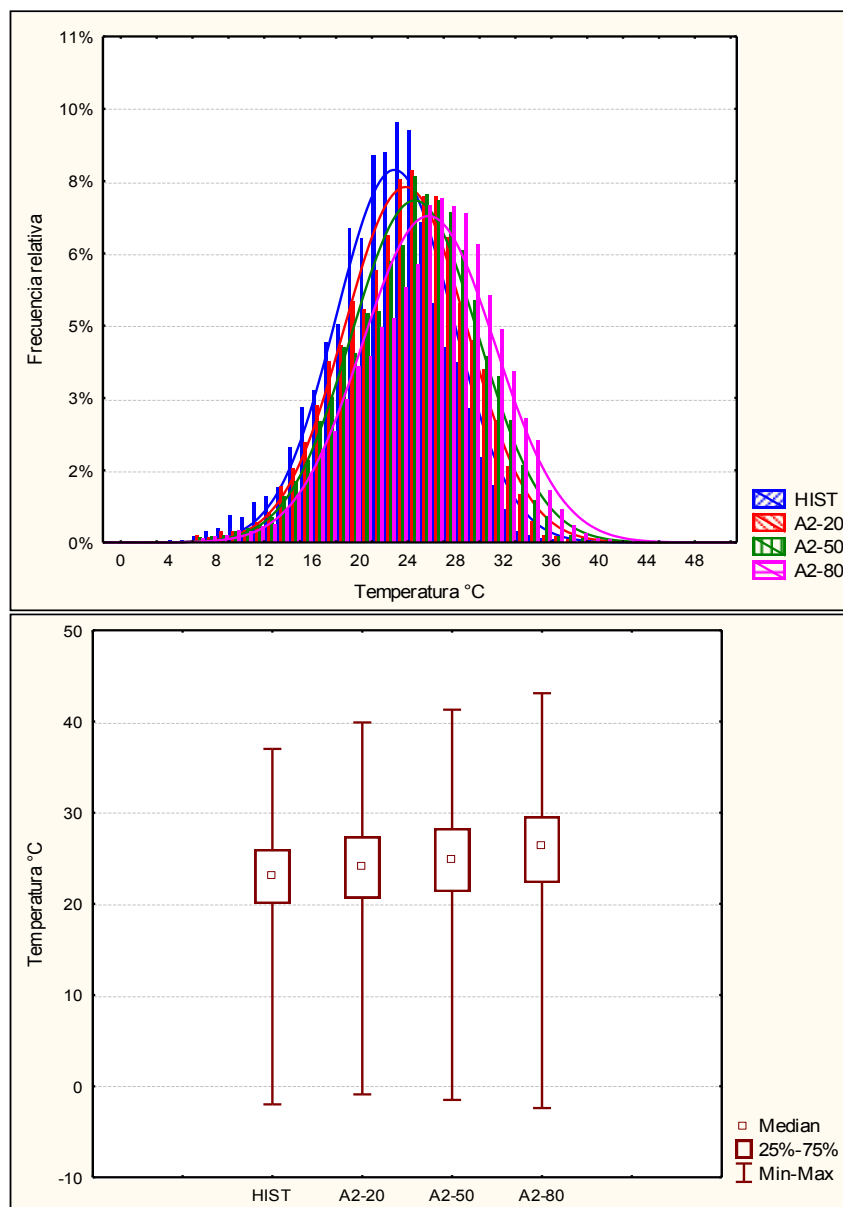


Figura 3.7 Histograma de distribución de probabilidad (superior) y gráfico Box-Plot (inferior), para comparar los cambios entre el escenario histórico y futuros para la variable Tmax de la EM-SMN (10094), Guanaceví, Guanaceví (-105.97° Long Oeste ,25.93° Lat Norte).

3.3.2. Temperatura mínima (Tmin). Escenario histórico Vs Escenarios A2

Con respecto a la Tmin, se observa un probable aumento menor a 1°C como promedio estatal, aunque para el Escenario A2-20 este incremento es más próximo a la unidad. Es decir en el Histórico la temperatura mínima promedio fue de 12.3°C y se esperaría que en

los escenarios futuros ésta pase a -11.5, -11.6 y -11.8°C para A2-20, A2-50 y A2-80, respectivamente.

Los resultados del análisis estadístico indica que de las 21 EM-SMN el 36.51% de estas podrían tener menos eventos de temperatura gélidas comparadas con el Histórico, ya que presentaron incremento de temperatura de hasta 2°C; el 25.40% de las estaciones muestran incrementos aun mayores a 2°C y hasta 7.4°C, para los tres periodos de tiempo considerados en el presente estudio (A2-20; A2-50 y A2-80). Por otra parte, el 38.10% de las EM-SMN podrían presentar eventos extremos aún más fríos que los registros históricos de hasta - 4.8°C.

En la Figura 3.8 se hace una comparación de la tendencia en la disminución de eventos fríos en los escenarios futuros, los cuales se identifican a partir de los IICC, tomado en consideración que éste representa efectos probables de disminución, aumento o sin cambio, para los cual se definen tres casos particulares:

- ✓ **Primer caso**, el 38.10% de los escenarios futuros presenta tendencias semejantes, ante probables disminuciones de la temperatura por debajo de cero grados centígrados, hasta - 4.8; condición bajo la cual se esperarían eventos más fríos durante el invierno que los registrados en el histórico entre 1960 y 2000.
- ✓ **Segundo caso**, el 36.51% de los escenarios futuros presenta tendencias similares que se caracterizan por incrementos de temperatura mínima de hasta 2°C, siendo este valor semejante al mínimo aumento probable proyectado por el IPCC (2007).
- ✓ **Tercer caso**, el 25.4% de los escenarios futuros, son aun más extremos que el Histórico, cuyo incremento de la temperatura probable es hasta 7.4°C; caso en el que de llegar a presentarse tendría efectos severos en todos los sistemas, tanto naturales como antrópicos.

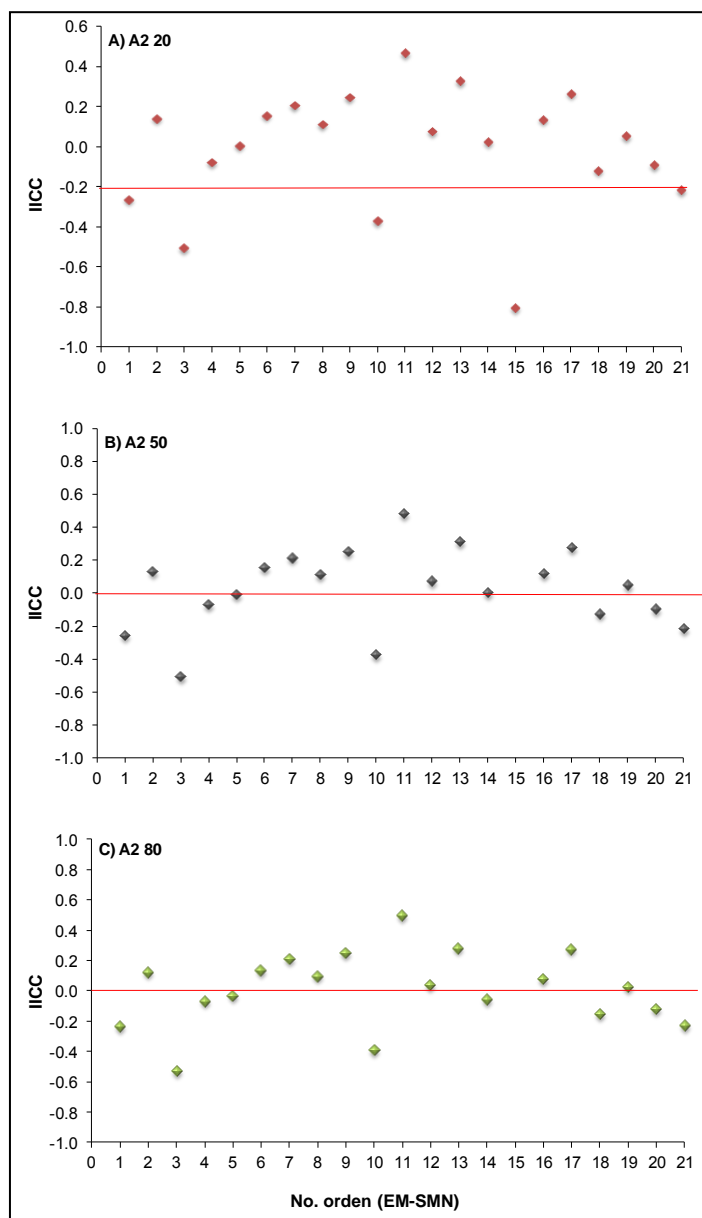


Figura 3.8 Índice de Impacto de Cambio Climático (IICC) para los escenarios futuros (A2-20, A2-50, A2-80), para la Temperatura mínima extrema. (Para detalles de ubicación y nombres de las EM-SMN, ver Tabla 3.2)

La distribución espacial de la T_{min} extrema se presenta en la Figura 3.9, en dos zonas, Noreste y Región Sierras-Ilanuras de Durango, para los cambios más críticos en esta variable se describe de la siguiente manera:

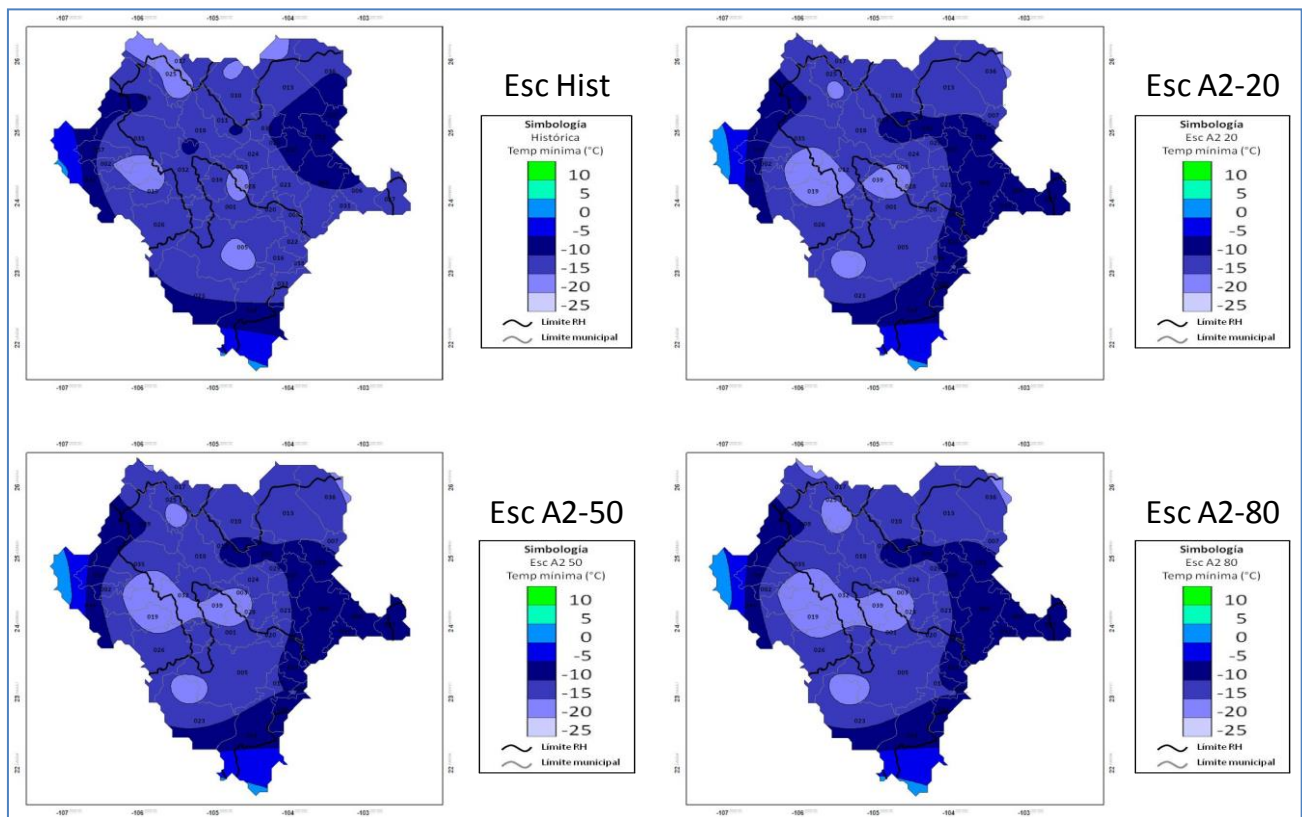


Figura 3.9 Comparación de escenarios de Temperatura Mínima Extrema en °C para el estado de Durango.

➡ **Zona Noreste**, comprende las RH Bravo-Conchos, Mapimí y una pequeñas parte de la RH Nazas-Aguanaval, en su cuenca baja. En los escenarios futuros, A2-20, A2-50 y A2-80, probablemente cambien, primordialmente hacia una disminución de hasta 4.8°C (de -9.0 a -13.8) de la Tmin; lo cual significa que habrá eventos más fríos en la época de invierno, para los siguientes municipios ubicados en la zona conocida como el semidesierto: Tlahualilo, Mapimí, Gómez Palacio, Lerdo, San Juan de Guadalupe y Simón Bolívar.

➡ **Región Sierras y llanuras de Durango**, comprende de Norte a Sur parte de las RH's Bravo-Conchos, Nazas-Aguanaval y Presidio-San Pedro. En los escenarios futuros es probable un incremento de hasta 7.4°C, lo cual implicaría condiciones extremosas entre estaciones del año con eventos extremos en inviernos menos fríos. Los municipios que se podrían ver más afectados por estos cambios de temperatura son: al Norte (Ocampo, San Bernardo, Indé, El Oro); Centro (Nazas,

Rodeo, Coneto de Comonfort, Nuevo Ideal, San Juan del Río); Sur (parte del Municipio de Durango, Guadalupe Victoria, Poanas y Vicente Guerrero).

En la Figura 3.10 se muestra los resultados del análisis estadístico para el caso más crítico localizado al Sureste de la región Sierras y Llanuras de Durango, para lo cual EM-SMN proyecta los mayores cambios que corresponde a Narciso Mendoza, Poanas (10047: -103.93° Long. Oeste y 24.02° Lat. Norte), cuya descripción es la siguiente. Los detalles de esta variable para las 21 EM-SMN se presentan en el ANEXO 3-D PDF-BoxPlot Tmin DGO.

En el histograma de distribución se observa una tendencia de desplazamiento hacia la derecha de la media histórica de alrededor de 8° hasta 10.6°C en el escenario A2-80. Asimismo, los cambios observados para la Tmin extrema en el grafico Box-Plot van desde -15°C a - 7.6°C lo que representa un incremento del 49.3% del escenario A2-80 respecto al histórico.

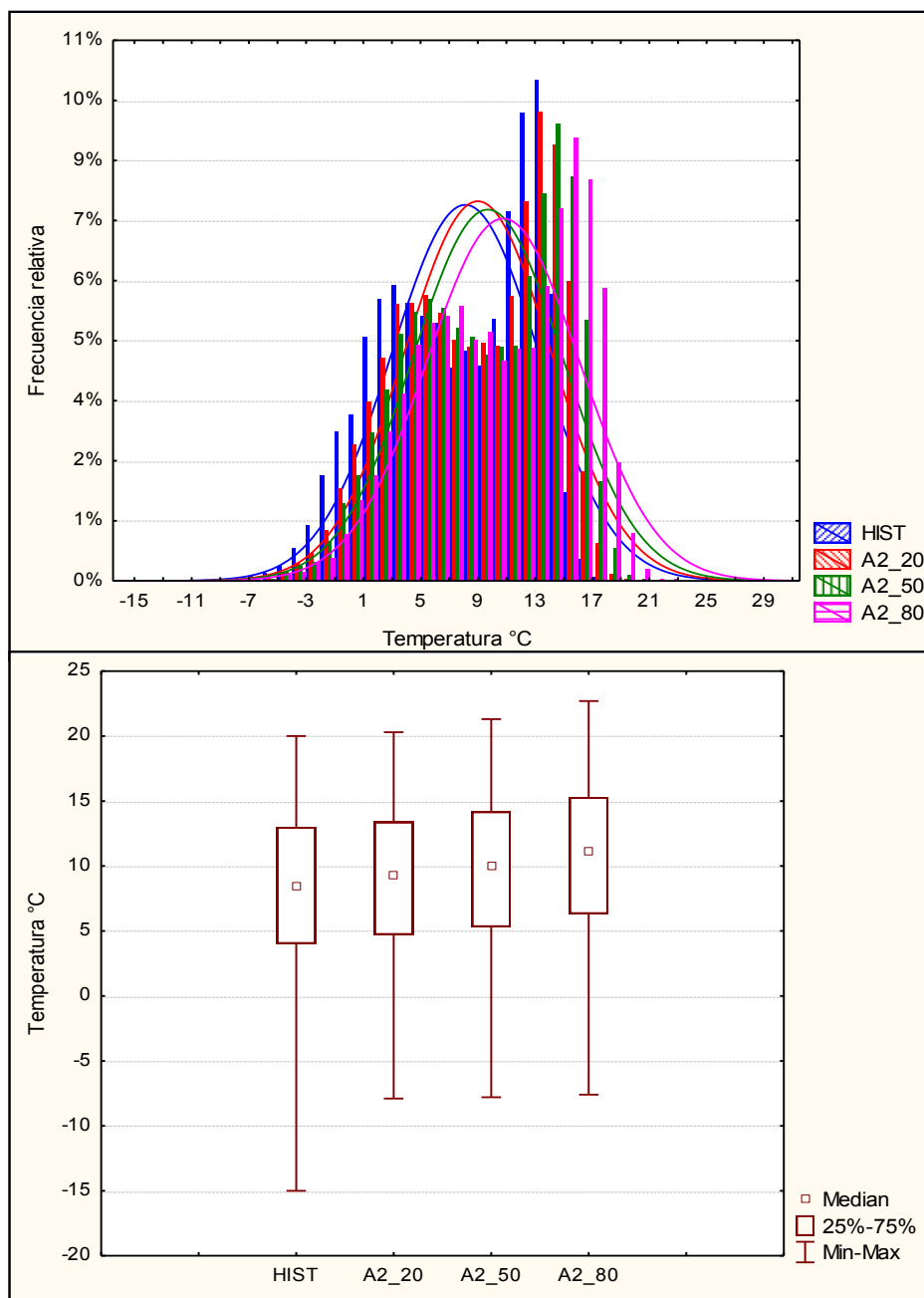


Figura 3.10 Histograma de distribución de probabilidad (superior) y gráfico Box-Plot (inferior), para comparar los cambios entre el escenario histórico y futuros para la variable Tmin de la EM-SMN (10047), Narciso Mendoza, Poanas (-103.93° Long Oeste, 24.02° Lat. Norte).

3.3.3. Precipitación pluvial máxima en 24 h (Pp). Escenario Histórico Vs Escenarios A2

Con respecto a la Pp máxima en 24 h, se identifican dos grupos de las 21 EM-SMN por tipo de cambio para las magnitudes de lluvia: positivo y negativo; el primer grupo de cuatro EM-SMN, representan el 17.46%; y el segundo, que es el más importante, nos solo porque comprende a la mayor parte de las EM-SMN (17 = 82.54%), sino por el gradiente en la disminución de la lluvia en la mayor parte del territorio estatal (Figura 3.11). Con respecto a los 17 casos en los que la lluvia va a disminuir, es importante mencionar que es diferenciado, produciendo un gradiente que se extiende desde eventos de baja magnitud hasta aquellos >10 mm, cuya descripción es la siguiente:

- ✓ **Grupo 1**, este grupo se define por 13 EM-SMN, cuya Pp máxima en 24 h en el promedio de los escenarios futuros su disminución probable alcanzará hasta - 20 mm. Los casos más críticos detectados en análisis son Cañón de Fernández (10004), Tlahualilo (10085) y J. Salomé Acosta (10035). Este comportamiento, indica que para la zona se tendrá una disminución en la disponibilidad de la humedad en el suelo, por la sequía y un incremento de la aridez.
- ✓ **Grupo 2**, este grupo se define por 4 EM-SMN (10024, 10082, 10087, 10025), cuyas Pp máxima en 24 h para el promedio de los escenarios futuros disminuyeron por arriba de - 20 mm y hasta - 49.5 mm. En cuyo caso se esperarían anomalías promedio de -20.75% para el escenario A2-80; dato por cierto 144.6% mayor que el que reporta el INE-SEMARNAT (2012) para la precipitación media anual en el territorio mexicano; y para Durango alcanza un promedio de alrededor de -3%.

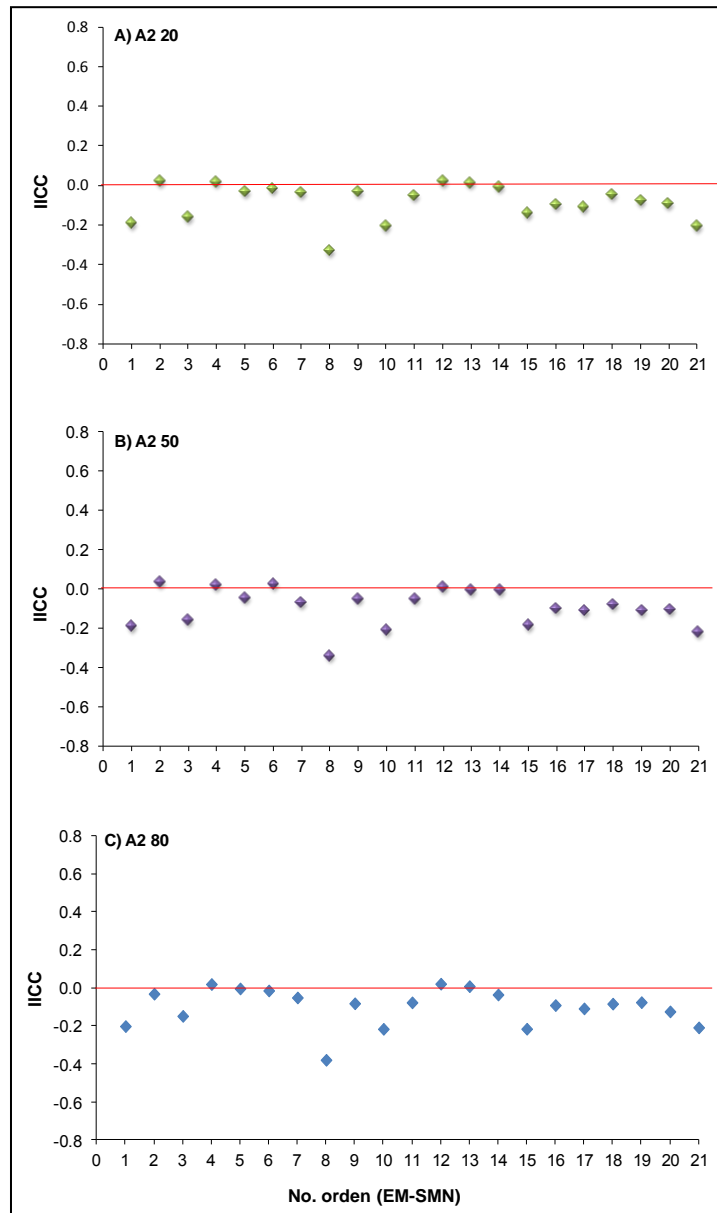


Figura 3.11 Índice de Impacto de Cambio Climático (IICC) para los escenarios futuros (A2-20, A2-50, A2-80), para la Precipitación máxima en 24 h. (Para detalles de ubicación y nombres de las EM-SMN, ver Tabla 3.2).

La distribución espacial de esta variable (Pp max en 24 h), y sus impactos probables por RH es la siguiente:

- ➔ **RH Nazas-Aguanaval:** esta RH, como ya se mencionó con anterioridad, por su tamaño y extensión tendrá efectos encontrados; considerando los distintos niveles de altura de esta cuenca (1000 a > 2500 msnm), se reconocen tres zonas: cuenca alta,

cuenca media y cuenca baja. Los impactos en cada una de estas zonas presumiblemente serán distintos según la percepción de los resultados del análisis estadístico, como a continuación se indica:

- **Cuenca alta**, es en esta donde nacen los principales tributarios del Río Nazas, en los municipios San Bernardo, Guanaceví, Tepehuanes, El Oro e Indé, donde se combinan varios sistemas de producción primaria, como son la agricultura de temporal, la ganadería de bovino y el forestal, se estima una anomalía de -2.6% para los tres periodos futuros del Escenario A2, esto, considerando la zona de influencia de la EM-SMN 10094, Guanaceví ubicada al Noroeste del estado, casi en los límites de esta parte de la cuenca (25.93 latitud Norte y -105.97 longitud Oeste), al pasar de 69 mm en el histórico a 66.9, 66, y 68.6 mm para los periodos A2-20, A2-50 y A2-80.

- **Cuenca media**, esta es una zona que se destaca por concentrar una gran actividad agrícola de riego con las escorrentías del Río Nazas, zona también reconocida por contar parajes contrastantes de ambientes áridos con clima de tipo mediterráneo; sin embargo, es en esta zona donde se esperan los cambios más negativos en cuanto a la disminución de la lluvia, en una magnitud estimada equivalente al -19%. Es decir, la lluvia máxima en 24 h, para el histórico de 86.5 mm pasará en los escenarios futuros a 70, 70.1 y 68.9, para los A2-20, A2-50 y A2-80, respectivamente.

- **Cuenca baja**, es la zona (región Laguna) donde probablemente se van a dar los impactos más extremos, no solo porque habrá eventos de lluvia de menos volumen, sino porque el impacto tendrá un efecto aditivo por tratarse de la parte final de la cuenca, la cual actualmente se encuentra bajo un estrés hídrico alto.

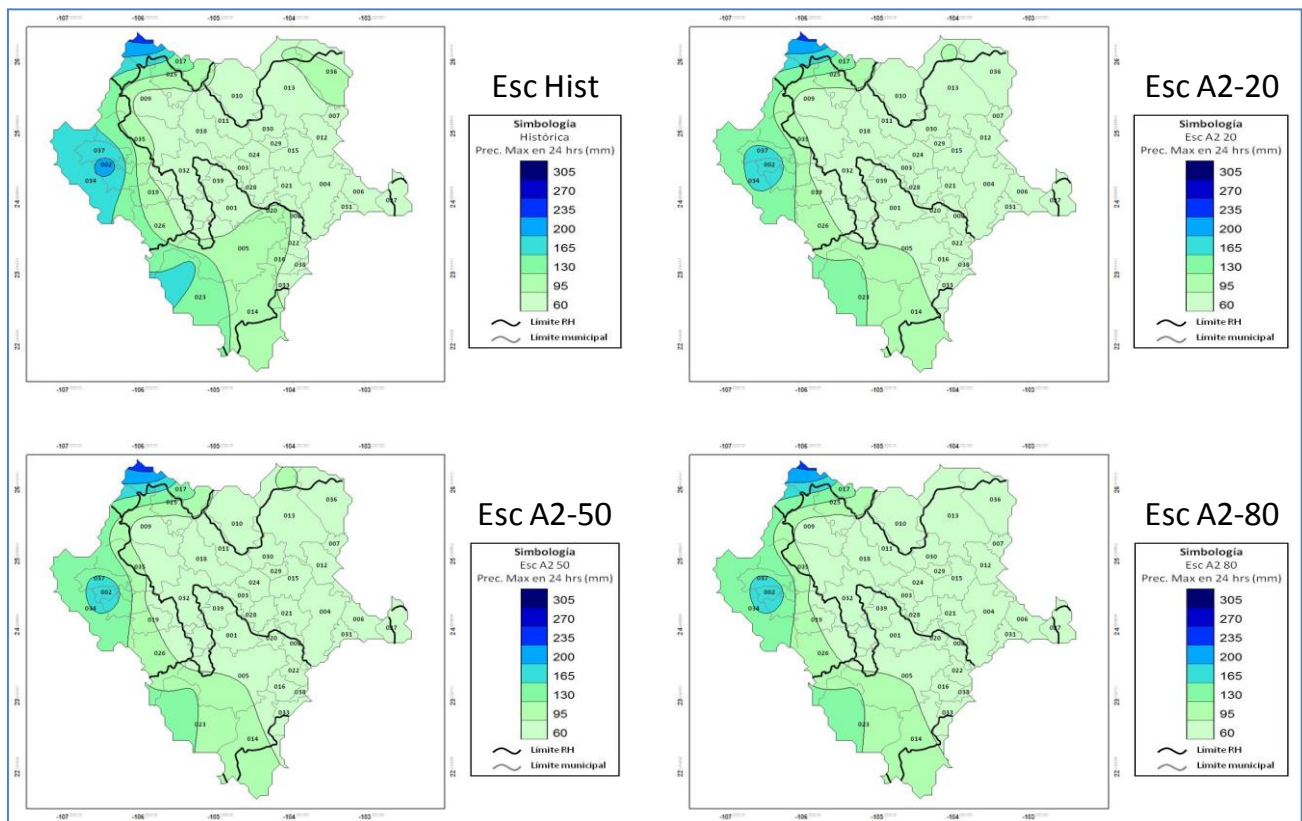


Figura 3.12 Comparación de escenarios de Precipitación máxima en 24 horas para el estado de Durango.

- ➡ **RH-Sinaloa**, esta RH, como ya se ha mencionado destaca por integrar una región donde se concentra la diversidad biótica más importante del territorio duranguense, con bosques de coníferas en la parte más alta de la Sierra.

La Sierra Madre Occidental para México, y en particular para el Estado de Durango es de particular importancia debido a su riqueza natural, pues posee una de las mayores riquezas de diversidad biológica en Norte América y contiene cerca de dos tercios de la trocería de México. Aproximadamente 23 especies diferentes de pino y más de 100 de encino residen dentro de esta cadena de montañas. Se menciona también que muchas especies evolucionaron como resultado de la altitud, la temperatura, la precipitación y la pendiente. Extensas áreas de bosques de pino-encino se distribuyen a lo largo de las laderas orientales de la Sierra (Navar-Chaidez y González-Elizondo, 2009).

En esta zona se estima una disminución probable de la Pp máxima en 24 h aproximadamente 8%, al pasar de 127 mm en el histórico a 118, 117 y 116 mm en los escenarios futuros A2-20, A2-50 y A2-80, respectivamente.

En la Figura 3.13 se muestra los resultados del análisis estadístico para el caso más crítico localizado al Sureste del Estado, para lo cual EM-SMN que proyecta los mayores cambios o más críticos corresponde a El Saltito, Nombre de Dios (10024: -104.37° longitud Oeste y 24° latitud Norte), cuya descripción es la siguiente. Los detalles de esta variable para las 21 EM-SMN se presentan en el ANEXO 3-E PDF-BoxPlot Pp max 24h DGO.

En el histograma de distribución se observa una tendencia de desplazamiento hacia la izquierda de la media histórica de alrededor de 1.36 a 1.33 mm por día en el escenario A2-80. Asimismo, los cambios observados para la Pp máxima extrema en 24 h en el grafico Box-Plot van desde 130 a 80.5 mm, lo que representa un decremento en el volumen de lluvia del 38% en este mismo escenario (A2-80) respecto al histórico.

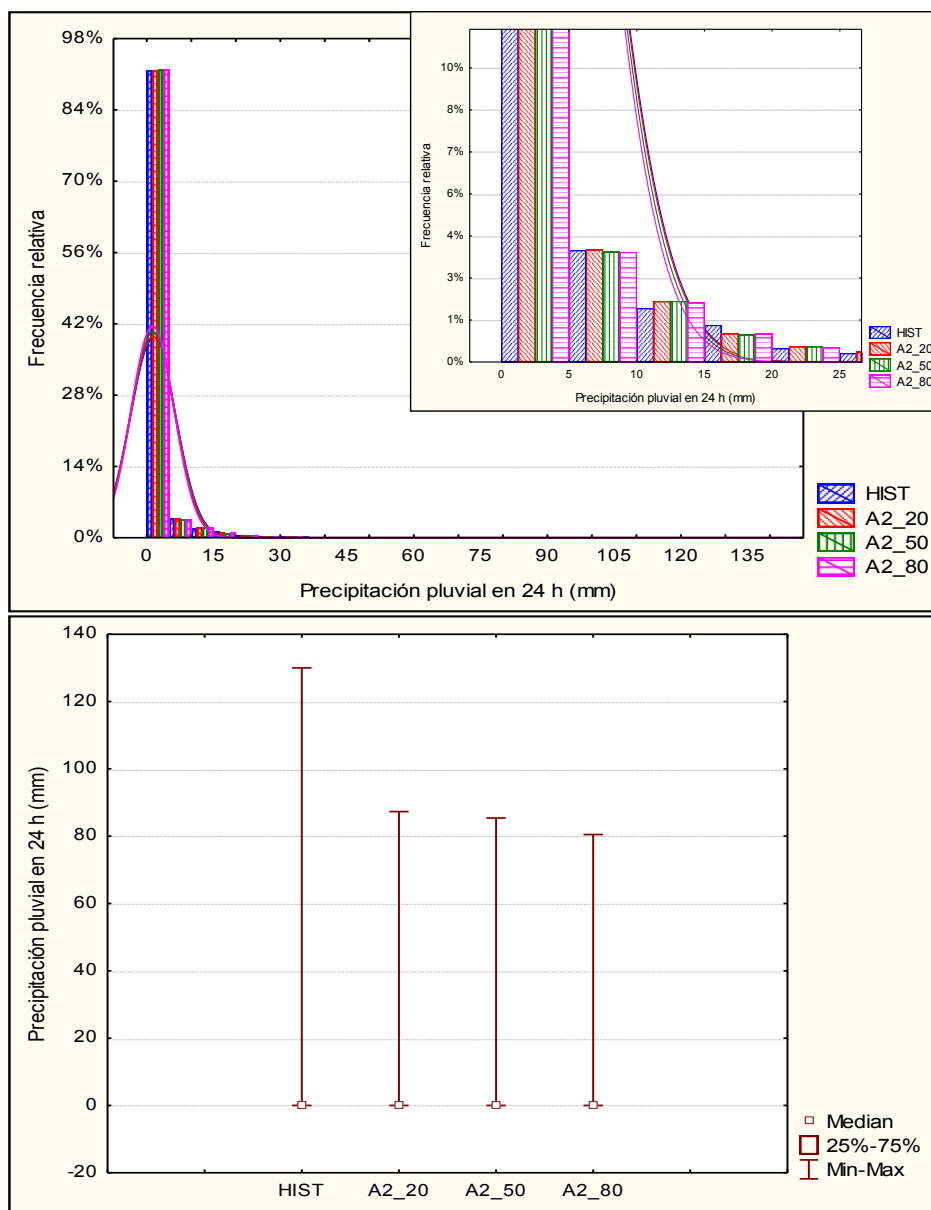


Figura 3.13 Histograma de distribución de probabilidad (superior) y gráfico Box-Plot (inferior), para comparar los cambios entre el escenario histórico y futuros para la variable Pp en 24 h de la EM-SMN (10024), El Saltito, Nombre de Dios (-104.37° Long Oeste, 24° Lat. Norte).

3.4 Escenarios de Emisiones de GEI futuros (LEAP)

Los escenarios de emisiones de GEI y escenarios energéticos para el estado de Durango fueron determinados empleando software LEAP (*Long-Range Energy Alternatives Planning System*) desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI)³ en su Versión: 2008.0.0.96, (COMMEND, 2009).

LEAP genera escenarios fundamentados en la herramienta de modelación de energía-ambiente. Los escenarios están basados en la contabilidad comprensible de cómo la energía es consumida, convertida y producida en una dada región o economía bajo un rango de alternativas supuestas sobre población, desarrollo económico, tecnología precios, conocido como escenario futuro.

Con el LEAP empleando datos básicos se puede llegar a construir simulaciones sofisticadas y estructuras de datos. A diferencia de los modelos macroeconómicos, LEAP no intenta estimar el impacto sobre políticas de empleo de energía o el PIB, sin embargo estos modelos pueden ser corridos en conjunto con el LEAP. Similarmente, LEAP no genera automáticamente escenarios óptimos de equilibrio de mercado, sin embargo, puede ser empleado para identificar los escenarios de bajo costo. Una ventaja importante del LEAP es su flexibilidad y fácil uso, lo que permite a los tomadores de decisiones moverse rápidamente desde la idea de una política al análisis de la política sin necesidad de emplear modelos más complejos.

Entonces, LEAP tiene diferentes propósitos: como una base de datos, provee un sistema comprensivo para mantener información energética; como herramienta de planeación, permite hacer proyecciones de suministro y demanda de energía sobre un horizonte de planeación a largo plazo; como herramienta de análisis de políticas, se puede simular y evaluar el efecto físico, económico y ambiental de programas de alternativas energéticas, inversión y acciones.

³ SEI: Stockholm Environment Institute. Responsable del Software LEAP (Long-Range Energy Alternatives Planning Systems), v 2008.0.0.96. www.sei-us.org.

3.4.1 Metodologías

El escenario base (BAU, por sus siglas en inglés) fue generado considerando la información de actividad, economía, población y tecnologías del año 2005. Los datos de actividad fueron obtenidos del IEEGEI-Durango (2011), la población de las estadísticas de censos o conteos de población (INEGI, 2010), el producto interno bruto (PIB) de la información económica de los datos históricos tomados del INEGI (2010) y la proyección poblacional del consejo nacional de población (CONAPO, 2009).

El escenario base de emisiones de GEI está fundamentado en la analogía de todas las actividades energéticas en fuentes fijas y móviles del estado, por lo que básicamente se considera en la categoría de Energía, las siguientes subcategorías:

- ❖ Residencial, Comercio y Servicios públicos
- ❖ Transporte
- ❖ Manufactura y Construcción
- ❖ Generación de energía

Para cada una de las subcategorías se calcularon el nivel de actividad y la intensidad energética. Dentro de los combustibles empleados en las actividades de la categoría Energía se encuentran las gasolinas (Magna y Premium), turbosinas, diesel, el gas licuado de petróleo (GLP), gas natural (GNC) y combustóleo (ligero y pesado).

El LEAP está conformado por dos módulos: 1) Módulo de consideraciones clave y 2) Módulo de Demanda. En el primero se introduce la información clave del estado que será empleada en las proyecciones como son: viviendas, PIB, tasa de electrificación, tasas de consumos energéticos en residencial y servicios, eficiencias energéticas, etc., es decir información básica del estado. En el segundo módulo, se proporciona la demanda energética que el estado ha tenido en un año base para cada subcategoría analizada.

Dentro de los cálculos del LEAP se desarrollan básicamente tres escenarios: 1) Escenario de Cuentas Actuales, 2) Escenario BAU (*Business As Usual*) y 3) Escenario alternativo de Mitigación. En el primero se observa el esquema basado en la información proporcionada del año base y sus tendencias de proyección futura; en el segundo se hace una proyección a futuro basándose en la información del escenario actual y datos de

crecimiento (a este escenario se le conoce como “crecer sin acciones de mitigación”) y el tercero se desarrolla imponiendo sobre el escenario BAU alguna o algunas medidas de mitigación sobre alguna fuente clave para poder reducir las emisiones. Es conveniente, considerar que una medida de mitigación debe ser aplicada sin afectar la productividad o rendimiento del sector, por lo que se debe respetar las necesidades energéticas del mismo.

3.4.1.1 Carpeta de consideraciones claves

La primera carpeta en el árbol de áreas se denomina Consideraciones Claves en donde se registran los valores base para las subcategorías que se desarrollaran en el estudio. Estas consideraciones se describen en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Consideraciones claves del escenario Cuentas Actuales 2005.				
Área	Consideración	Valor	Unidad	Descripción
Básicas	Vivienda	352,652	Viviendas	Número de viviendas en el estado de Durango para el año 2005
	PIB estatal	10,349,600,000.00	\$ USD*	Valor del producto interno bruto.
Residencial	Tasa de electrificación	96.10	%	Porcentaje de viviendas que tienen acceso a electricidad.
	Tasa de aire acondicionado	17.77	%	Porcentaje de viviendas cuentan con aire acondicionado
	Tasa del ventilador	45.77	%	Porcentaje de viviendas cuentan con aire acondicionado
	Refrigeración	84	%	Porcentaje de viviendas cuentan sistema de refrigeración
	Boiler	67.11	%	Porcentaje de viviendas cuentan sistema de calentamiento de agua (Boiler sin conocimiento de combustible utilizado)

	Estufa de gas LP	73.43	%	Porcentaje de viviendas que utilizan gas LP como combustible de cocción de alimentos
	Estufa de leña o carbón	0.005	%	Porcentaje de viviendas que utilizan leña o carbón como combustible de cocción de alimentos
	Estufa de gas natural	23.65	%	Porcentaje de viviendas que utilizan gas natural como combustible de cocción de alimentos
	Parrilla eléctrica o microondas	2.92	%	Función de LEAP que nos permite calcular el valor restante para la obtención de un 100%
Transporte	Parque vehicular sedan	161,744	Vehículos	Número de vehículos sedan
	Parque vehicular autobuses	2,728	Vehículos	Número de autobuses
	Parque vehicular camioneta GLP	11,168	Vehículos	Número de camionetas que utilizan gas LP como combustible
	Parque vehicular camioneta diesel	67,130	Vehículos	Número de camioneta que utilizan diesel como combustible
	Parque vehicular camioneta gasolina	66,399	Vehículos	Número de camionetas que utilizan gasolina como combustible
	Parque vehicular camión diesel	8,058	Vehículos	Número de camiones
	Parque vehicular motocicletas	2,950	Vehículos	Número de motocicletas
	Eficiencia sedan	5.32	MJ/km	Eficiencia energética de los vehículos sedan
	Eficiencia autobuses	8.36	MJ/km	Eficiencia energética de los autobuses
	Eficiencia camioneta GLP	7.96	MJ/km	Eficiencia energética de las camionetas de gas LP
	Eficiencia camioneta diesel	7.36	MJ/km	Eficiencia energética de las camionetas a diesel
	Eficiencia camioneta gasolina	7.96	MJ/km	Eficiencia energética de las camionetas a gasolina
	Eficiencia camión diesel	8.36	MJ/km	Eficiencia energética de los camiones
	Eficiencia motocicletas	2.15	MJ/km	Eficiencia energética de las motocicletas

	Recorrido sedan	21,000	km	Recorrido promedio anual de los vehículos sedan
	Recorrido autobuses	120,000	km	Recorrido promedio anual de los autobuses
	Recorrido camioneta GLP	18,000	km	Recorrido promedio anual de las camionetas de gas LP
	Recorrido camioneta diesel	20,000	km	Recorrido promedio anual de las camionetas a diesel
	Recorrido camioneta gasolina	20,000	km	Recorrido promedio anual de las camionetas a gasolina
	Recorrido camión diesel	100,000	km	Recorrido promedio anual de los camiones
	Recorrido motocicletas	10,000	km	Recorrido promedio anual de las motocicletas
	Turbosina	95.45	%	Porcentaje de turbosina para aviones en el estado de Durango
	Gas avión	4.55	%	Porcentaje de gas avión utilizado en el estado de Durango

1USD = \$ 9.45 MXN

Fuente: INEGI, 2005 = 97,803,341 miles de millones de Pesos

Transporte: La eficiencia es la cantidad energética por kilómetro recorrido de cada uno de los subsectores estudiados.

$$E = \frac{\text{Contenido energético por combustible}}{\text{Rendimiento promedio}} = \frac{\frac{MJ}{L}}{\frac{km}{L}} = \frac{MJ}{km} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

El contenido energético por combustible fue aproximado de 27.72 MJ/L para el gas LP⁴, 28.7 MJ/L para el Diesel⁵ y 34.6 MJ/L para la Gasolina^{6,7}.

Los kilómetros propuestos son una hipótesis propuesta, ya que obtener un recorrido promedio de todo el padrón vehicular sería complejo y con un error grande. Las aproximaciones son referenciadas a dos estudios: “Indicador kilómetros-Vehículo

⁴ Gas LP: <http://www.natural-gas.com.au/about/references.html>

⁵ Diesel: http://fercaci.com/?page_id=194

⁶ Gasolina: <http://es.wikipedia.org/wiki/Gasolina>

⁷ Gasolina: www.journals.unam.mx%2Findex.php%2Fingenieria%2Farticle%2Fdownload%2F32227%2F29645

recorridos” (Góngora, 2012)⁸ y “La importancia de la reducción del uso del automóvil en México” (Medina, 2012)⁹; ambos desarrollados por el Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo (ITDP, por sus siglas en Inglés).

Siendo los kilómetros recorridos: 20,000 para vehículos tipo sedan; 10,000 para motocicletas; 25,000 para camionetas a diesel y gasolina; 20,000 para camionetas a gas GLP; 100,000 para camiones a diesel y autobuses.

El rendimiento del combustible por tipo de automóvil se adaptó en base a los kilómetros propuestos para empatarlo con la cantidad de combustible consumido y reportado en el Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero; por tal motivo los rendimientos promedio de combustibles fueron:

- ✓ Sedan : 8 km/L
- ✓ Motocicletas: 10.5 km/L
- ✓ Camioneta gasolina: 6 km/L
- ✓ Camioneta diesel: 5.5 km/L
- ✓ Camioneta Gas LP: 3 km/L
- ✓ Camión diesel: 4 km/L
- ✓ Autobuses diesel: 4.5 km/L

Una vez establecido el rendimiento de combustibles, se puede obtener la eficiencia dividiendo el contenido energético entre el rendimiento, obteniendo:

- ✓ Eficiencia sedan: 2.93 MJ/km
- ✓ Eficiencia Motocicleta : 3.29 MJ/km
- ✓ Eficiencia Camioneta Gasolina: 5.76 MJ/km
- ✓ Eficiencia Camioneta GLP: 8.76 MJ/km
- ✓ Eficiencia Camioneta Diesel: 7.03 MJ/km

⁸ <http://mexico.itdp.org/documentos/indicador-de-kilometros-recorridos-por-vehiculo/>

⁹ <http://mexico.itdp.org/documentos/importancia-de-reduccion-de-uso-del-auto/>

- ✓ Eficiencia Camión: 9.67 MJ/km
- ✓ Eficiencia Autobuses: 8.06 MJ/km

3.4.1.2 Carpeta de demanda

La segunda carpeta creada en el árbol de áreas es correspondiente a la demanda de energía en el estado. Esta carpeta contiene las subcategorías que se consideran para su estudio de demanda energética y emisiones de GEI. Cada una de las subcategorías contiene sectores que conllevan un nivel de actividad que demandan energía. En la Tabla 3.6 se resume la demanda energética que el estado de Durango tuvo en el periodo 2005-2008.

Tabla 3.6 Consumo energético anual del estado de Durango en TJ				
Sub-categoría	2005	2006	2007	2008
Residencial, Comercio y Servicios*	5,082.13	5,173.82	5,495.56	5,631.42
Transporte	49,921.45	55,354.60	61,402.78	67,704.28
Manufactura y construcción	25,607.90	35,629.42	34,148.83	53,911.93
Industria de generación de EE	58,332.98	68,516.48	71,164.89	67,575.82
Total	138,944.45	164,674.32	172,212.06	194,823.45

* El cálculo incluye el requerimiento energético en el estado por consumo de EE

En la Tabla 3.7 se muestran las áreas de la subcategoría residencial, comercial y de servicios, además de la consideración clave que se es requerida para su evaluación y el valor de la misma.

Tabla 3.7 Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Residencial, Comercial y de Servicios			
Áreas	Fuente energética	Nivel de actividad	Intensidad energética
Iluminación	Electricidad	96.10%	$= \frac{531,150^a}{(Viviendas * tasa\ de\ electrificaci\ n/100)}$
	Queroseno	3.9%	$= \frac{18,970^a}{(Viviendas * (100 - tasa\ de\ electrificacion) /100)}$
Climatización	Aire acondicionado (electricidad)	17.47%	$= \frac{94,597.81^a}{(Viviendas * \%Aire\ acondicionado /100)}$
	Ventilador (electricidad)	45.77%	$= \frac{43,501.185^a}{(Viviendas * \%Ventilador/100)}$
Refrigeración	Refrigerador (electricidad)	84.0%	$= \frac{495,740^a}{(Viviendas * Refrigeracion /100)}$
Calentamiento de agua	Boiler	67.11%	$= \frac{53,115^a}{(Viviendas * tasa\ electrificacion/100)}$
Cocción de alimentos	Estufa de gas natural	23.65	$= \frac{387,230^a}{(Viviendas * boiler/100)}$
	Estufa de de leña y carbón	0.005%	$= \frac{81.49^a}{(Viviendas * estufa\ de\ gas/100)}$
	Estufa de gas LP	73.43%	$= \frac{1,202,088^a}{(Viviendas * estufa\ de\ le\ a /100)}$
	Parrilla eléctrica o microondas	2.91%	$= \frac{47,681.98^a}{(Viviendas * parrilla\ electrica/100)}$
Otros electrodomésticos	Electrodomésticos (electricidad)	28.57%	$= \frac{504,715^a}{(Viviendas * Otros\ electrodomesticos/100)}$
Comercio y de servicios públicos	Comercio y de servicios públicos (no desagregado)	13.66	$= \frac{822,670^a}{(PIB * Comercio\ y\ servicios\ p\ blicos/100)}$

^a Cantidad energética consumida (Gigajoule) de acuerdo al Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI, 2011).

Se muestran dos totales: el de electricidad y el de combustibles fósiles. Calentamiento de agua y cocción de alimentos son complementarios, mientras que los demás corresponden al 100% de la electricidad consumida. Comercio y servicios públicos lleva porcentaje del 100% porque es un sector diferente.

Las consideraciones clave, para el sector transporte, fueron la cantidad de vehículos, además de un recorrido anual de los vehículos y una eficiencia energética en Megajoule por kilómetro (MJ/km). La subcategoría de transporte considera el consumo energético de los vehículos terrestres y aéreos, los datos de actividad se evaluaron de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Transporte			
Área	Fuente energética	Nivel de actividad	Intensidad energética
Sedan gasolina	Gasolina	= (Parque vehicular sedan * recorrido sedan) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular sedan
Camionetas GLP	Gas LP	= (Parque camioneta GLP * recorrido camioneta GLP) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular camioneta GLP
Camionetas gasolina	Gasolina	= (Parque camioneta gasolina * recorrido camioneta gasolina) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular camioneta gasolina
Camionetas diesel	Diesel	= (Parque camioneta diesel * recorrido camioneta diesel) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular camioneta diesel
Camión diesel	Diesel	= (Parque camion diesel * recorrido camion diesel) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular camion diesel
Autobuses diesel	Diesel	= (Parque autobuses diesel * recorrido autobuses diesel) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular autobus diesel
Motocicletas gasolina	Gasolina	= (Parque motocicletas gasolina * recorrido motocicletas gasolina) = vehículo-km	= Eficiencia vehicular motocicletas gasolina
Transporte aéreo	Turbosina	100%	= (302,519.63 ^a * Turbosina/100)
	Gas Avión	100%	= (302,519.63 ^a * gasavion/100)

^a Cantidad energética consumida (Gigajoule) de acuerdo al Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGI, 2011).

Para el sector industrial se consideraron las subcategorías mostradas en la Tabla 3.9.

Las industrias de la generación de energía son consideradas fuera de la subcategoría de industrias de manufactura y construcción. Para el estado de Durango la comisión federal de electricidad (CFE) reporta 5 generadoras de electricidad. Los procesos mediante los cuales se genera electricidad son: de ciclo combinado, turbo gas y termoeléctrica. El nivel de actividad y la intensidad energética se calculan como se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.9 Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de Industrias de la Manufactura y Construcción

Área	Demanda energética	Nivel de actividad	Eficiencia energética
Alimentos bebidas y tabaco	Gas natural (94.22%)	$= PIB * 0.1280^c$	$= \frac{464,542.47^b}{PIB * 0.1280}$
	Gas LP (0.01%)		
	Diesel (3.55%)		
	Combustóleo ligero (2.22%)		
Textil	Gas natural (100%)	$= PIB * 0.0222^c$	$= \frac{110,483.16^b}{PIB * 0.0222}$
Pulpa, papel e impresión	Combustóleo pesado (55.74%)	$= PIB * 0.0070^c$	$= \frac{2,374,865.93^b}{PIB * 0.0070}$
	Combustóleo ligero (44.26%)		
Química, petroquímica y sus derivados	Combustóleo ligero (0.05%)	$= PIB * 0.0032^c$	$= \frac{523,240.42^b}{PIB * 0.0032}$
	Combustóleo pesado (25.05%)		
	Gas natural (69.80%)		
	Gas LP (0.01%)		
	Diesel (5.09%)		
No metálica	Gas natural (100%)	$= PIB * 0.0064^c$	$= \frac{93,845.34^b}{PIB * 0.0064}$
Metálica	Gas natural (94.51%)	$= PIB * 0.0052^c$	$= \frac{18,743,961.42^b}{PIB * 0.0052}$
	Gas LP (0.01%)		
	Diesel (0.22%)		
	Coque de petróleo (5.26%)		
Otros procesos de manufactura	Combustóleo ligero (17.84%)	$= PIB * 0.0542^c$	$= \frac{23,191.64^b}{PIB * 0.0542}$
	Diesel (59.24%)		
	Gas LP (2.91%)		
	Gas natural (20.01%)		

^b Cantidad energética consumida en Gigajoule por combustible reportado en cedulas de operación anual SEMARNAT, 2005

^c Porcentaje de representación de la industria en base al PIB reportado por el Banco de Información Económica (BIE), INEGI 2005.

Tabla 3.10 Nivel de actividad e intensidad energética para la subcategoría de la Industria de generación de Energía Eléctrica.			
Área	Demanda energética	Nivel de actividad	Intensidad energética
Ciclo combinado	Gas natural (99.40%)	$= PIB * 0.0089^d$	$= \frac{19,099,757.79^e}{PIB * 0.0089}$
	Diesel (0.6%)		
Turbo gas	Gas natural (100%)	$= PIB * 0.00096^d$	$= \frac{2,069,444.75^e}{PIB * 0.00096}$
Termoeléctrica	Diesel (3.04)	$= PIB * 0.01438^d$	$= \frac{30,978,187.09^e}{PIB * 0.01438}$
	Combustóleo pesado (96.96%)		

^d Representación de las industrias de la generación de energía en relación al PIB estatal, BIE

^e Consumo energético por combustibles de industrias energéticas reportadas en las COA's. SEMARNAT, 2005.

3.4.2 Escenario BAU (Business As Usual)

El escenario BAU es referente a las proyecciones realizadas por LEAP con la hipótesis de no realizar ninguna medida de mitigación. Contempla los crecimientos económicos, poblacionales, niveles de actividad o eficiencias. Para el escenario BAU se tomaron en consideración los crecimientos mostrados en la Tabla 3.11.

En relación a las viviendas citadas en la Tabla 3.11, el promedio de integrantes por hogar considerado es de 4. Se optó por utilizar las viviendas como datos para adaptar el consumo energético por vivienda, ya que si se hubiera hecho con la población se habría tenido que obtener los índices per cápita. Como no todos los hogares tienen acceso al tipo de actividad propuesta, se utilizó la variable viviendas.

Tabla 3.11 Crecimientos para el escenario BAU				
Áreas	Rama	Valor calculado (2005)	Valor crecimiento	Valor final (Año 2030)
Consideraciones claves	Viviendas	352,652	1.25% ^g	511,679 viviendas
	PIB (USD)	10,349,600,000.00	1.12% ^h	10,349,600,000.00
	Tasa de electrificación	96.10%	0.15% ⁱ	100%
	Parque vehicular sedan	161,744 unidades	2.5% ⁱ	299,864 unidades
	Parque vehicular autobuses	2,728 unidades	1% ⁱ	3,498 unidades
	Parque vehicular camioneta GLP	11,168 unidades	2% ⁱ	18,322 unidades
	Parque vehicular camioneta diesel	67,130 unidades	2% ⁱ	110,133 unidades
	Parque vehicular camioneta gasolina	66,399 unidades	2% ⁱ	108,934 unidades
	Parque camión diesel	8,058 unidades	1% ⁱ	10,333 unidades
	Parque vehicular motocicleta	2,950 unidades	3% ⁱ	6,176 unidades
Residencial	Refrigeración	84%	0.24%	90% ⁱ
	Entretenimiento	96.10%	0.15%	100% ⁱ
Transporte	Transporte aéreo	302,519 Gigajoule	2% ⁱ	496,315 Gigajoule

^g Crecimiento de viviendas basado en el trabajo "Proyecciones en los hogares y viviendas de México y las entidades federativas 2005-2050, CONAPO 2009".

^h Crecimiento d basado en los datos históricos del PIB estatal, INEGI, 2005.

ⁱ Propuesta de crecimiento basado en el PIB y la población.

3.4.3 Escenarios de demanda energética futura

En el gráfico de la Figura 3.14 se puede observar la demanda energética desde el año base 2005 hasta el 2030. Aunque en el documento de la propuesta técnica se estipuló realizar escenarios futuros hasta el 2050, en la práctica se decidió únicamente extenderlo hasta el 2030, la razones fundamentales son: 1) que de acuerdo a nuestro sistema político sexenal difícilmente se hacen planeaciones futuras a largo plazo, a tal grado que no se considera que los tomadores de decisiones lleguen a plantear políticas energéticas y de mitigación para plazos futuros de 20 años y 2) que entre más largo sea el periodo de proyección mayor es la incertidumbre del cálculo. En un escenario BAU, es decir un escenario sin políticas de restricción de emisiones de GEI, en el 2005 la categoría energía del estado demandó 138,940.80 miles de Gigajoules (Terajoules) y para el año 2030 la demanda esperada será de 452,310.95 Terajoules. Esto representa un incremento de la demanda requerida de 225.54% en 25 años; es decir un crecimiento con una TCA

promedio de 4.85%, lo que significaría un reto que tienen que salvar los tomadores de decisiones para garantizar la demanda futura. En la Figura 3.14, se expresa la demanda energética por energético empleado en el estado de Durango y la proyección correspondiente.

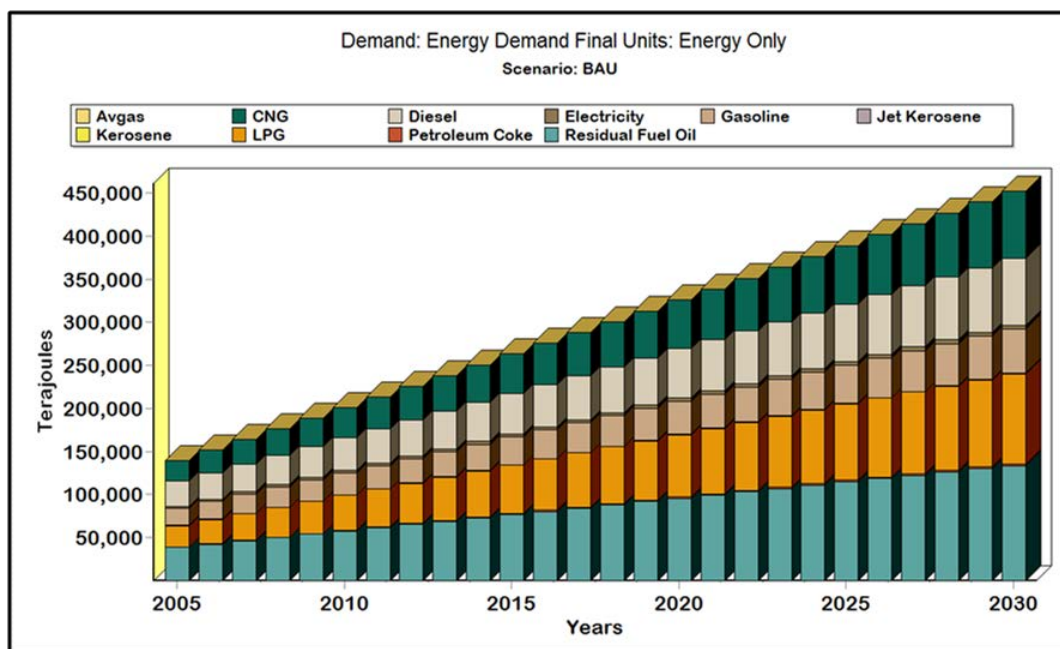


Figura 3.14 Escenario de demanda energética del estado de Durango por energético empleado

En la Figura 3.15 puede observarse que la mayor contribución a la demanda está cimentada en la Industria de la Generación de EE, seguida de Transporte y Manufactura y Construcción; por lo que deberá ponerse atención especial para a) satisfacer la demanda futura de energéticos y b) establecer acciones de mitigación para eficientar el uso del tipo de energético.

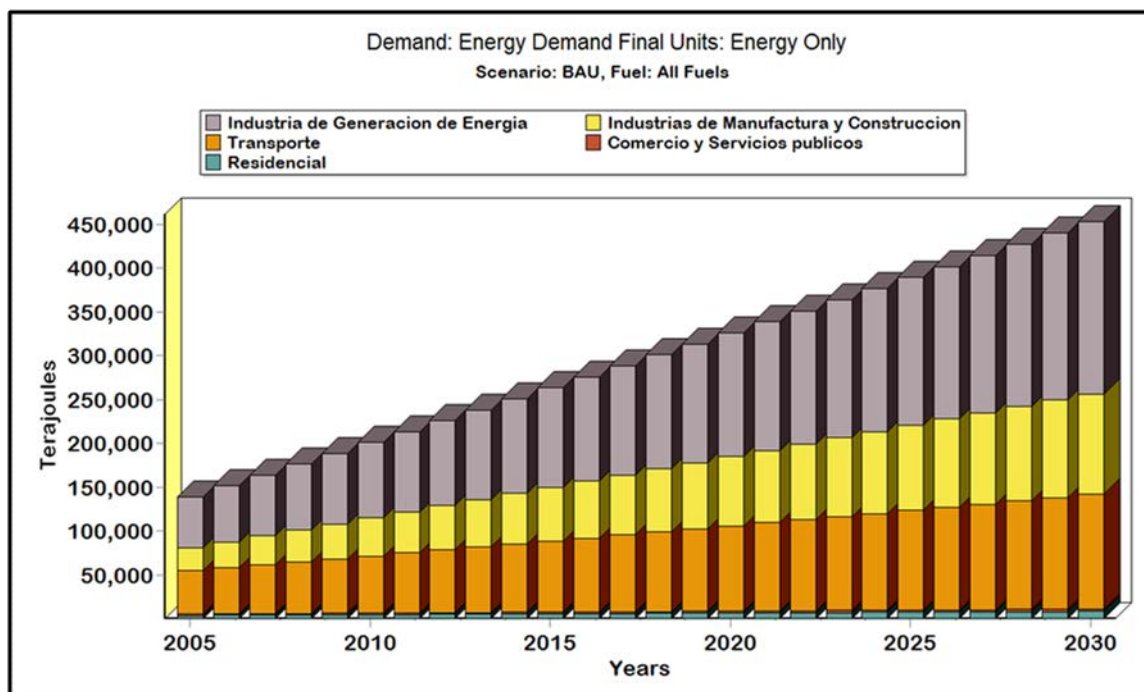
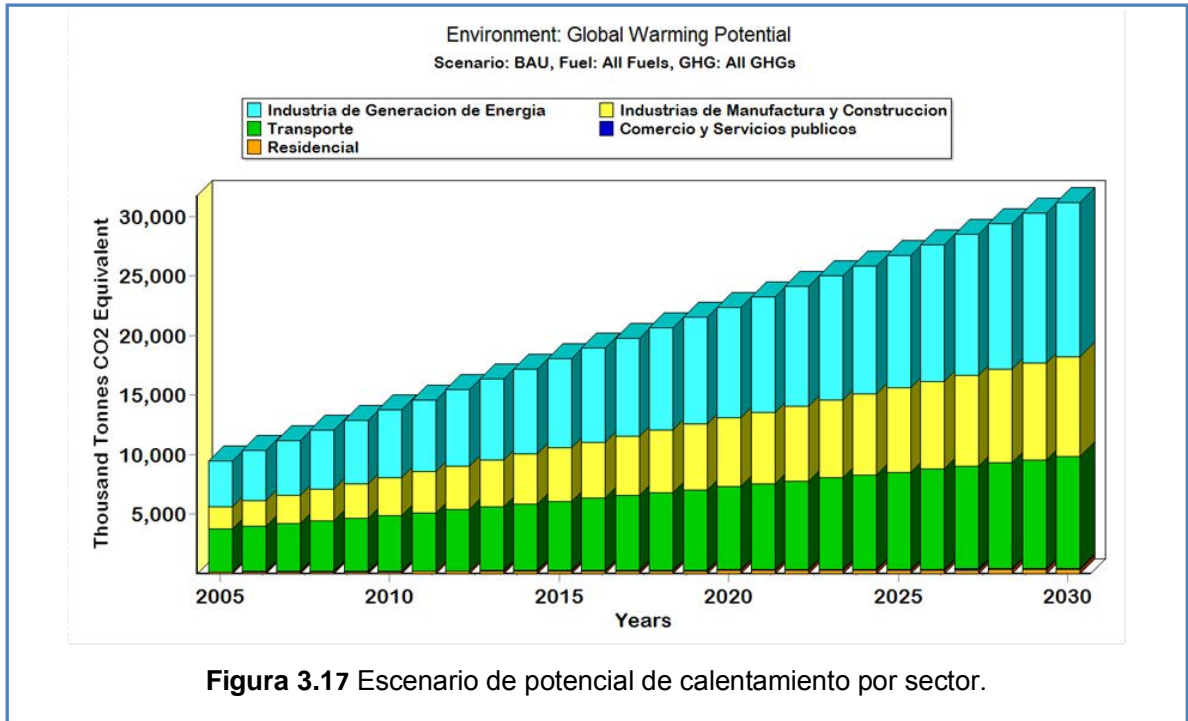
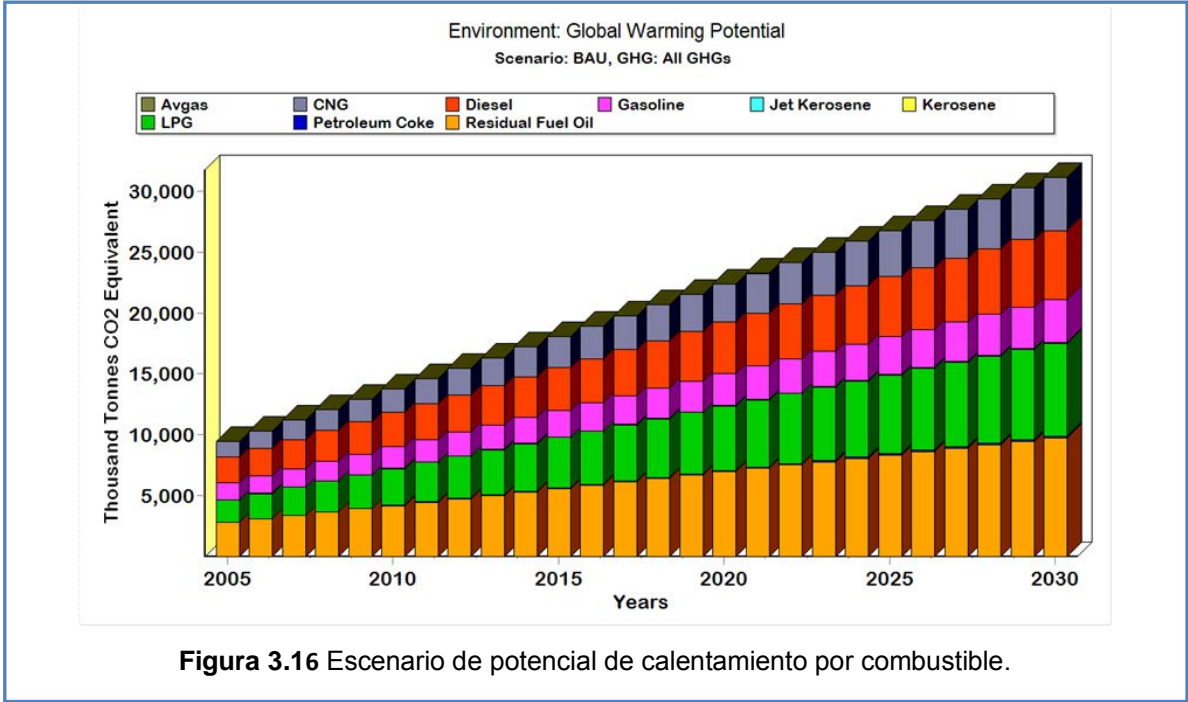


Figura 3.15 Escenario de demanda energética del estado de Durango

3.4.4 Escenarios BAU de emisiones de GEI futuros

Por supuesto la demanda energética lleva consigo la quema de combustibles fósiles los cuales generan gases efecto invernadero, en la Figura 3.16 se presenta el potencial de calentamiento con el que el estado de Durango contribuye al calentamiento global. Para el año base (2005), las emisiones de GEI equivalentes fueron de 9,480.56 miles de toneladas de CO₂ equivalentes (Gg de CO₂ eq.), los cuales se proyectan para el 2030 hasta una emisión de 31,123.99 Gg de CO₂ eq., es decir un incremento de 228.29%, lo que implica una TCA promedio de 4.88%. De manera similar en la Figura 3.16 se muestra el potencial de calentamiento con que el estado contribuye expresado por combustible empleado. Es evidente, como se muestra en la Figura 3.17, que la Industria de generación de EE y Transporte deberían considerarse como sectores claves en donde se establezcan medidas de mitigación con el objeto de reducir el impacto de las mismas al CC.



En base a estos resultados discutidos, en las proyecciones de escenarios futuros de emisiones de GEI, se puede sustentar que es necesario establecer e implementar medidas de mitigación que contribuyan a disminuir la aportación de GEI a la atmósfera; sin perder de vista que el calentamiento global únicamente será retractado, sí y solo sí, todos los países del planeta actúen en pro de conservar la casa común, la Tierra.

3.4.5 Escenarios de Mitigación

Escenario de Mitigación 1: Transporte Eficiente

Una medida de mitigación en el sector transporte terrestre puede ser el efficientar el uso del transporte público para disminuir el uso y adquisición anual de vehículos particulares sedan es decir disminuyendo su compra total al año 2030 en 1%, lo que implicaría que más autobuses de transporte público deberán adquirirse para movilizar una población equivalente en razón de 4:40 (sedán:autobús), es decir la adquisición de autobuses tendrá un incremento 9.07% del escenario BAU al escenario transporte eficiente al año 2030. Esto traería una reducción de emisiones de CO₂ al 2030 de 9,294.56 a 8,617.18 Gg de CO₂ eq., es decir aproximadamente una reducción del 7.28%. En la Figura 3.18 se presenta el gráfico comparativo de ambos escenarios.

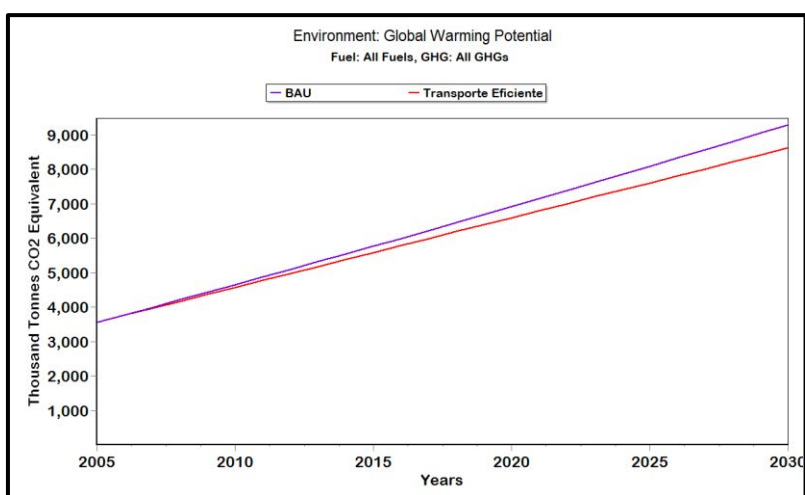


Figura 3.18 Escenario de mitigación mediante sustitución de automóvil sedán por transporte público eficiente.

CAPÍTULO IV

VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

4.1 Introducción

Si bien es cierto que mucho se ha hablado de la vulnerabilidad vinculada al Cambio Climático, dicho término no tiene una definición aceptada universalmente. Sin embargo, la literatura acerca de los riesgos, las amenazas del clima, la pobreza y el desarrollo se relaciona con el subdesarrollo y la exposición a la variabilidad climática, entre otras perturbaciones y amenazas. En este contexto, la vulnerabilidad es sistémica y una consecuencia del estado de desarrollo que con frecuencia se manifiesta en algún aspecto de la condición humana, tal como la desnutrición, la pobreza o la falta de vivienda. Los resultados finales se determinan mediante una combinación de amenazas climáticas y vulnerabilidad del sistema (PNUD, 2005). Este enfoque se concentra en la tolerancia o en la capacidad de adaptación, con medios para reducir la vulnerabilidad como se expresa en la Ec. 5.1.

$$Riesgo = \left[\frac{Amenaza}{Peligro (clima)} \right] \times [Vulnerabilidad (exposición)] \quad (\text{Ec. 4.1})$$

En concordancia con el IPCC, la vulnerabilidad se considera como los impactos residuales del Cambio Climático luego que han sido implementadas medidas de adaptación. La incertidumbre que rodea al Cambio Climático, a los escenarios de impactos y a los procesos de adaptación es tal, que puede decirse muy poco con certidumbre acerca de la vulnerabilidad al Cambio Climático a largo plazo (Ec. 5.2).

$$Vulnerabilidad = Riesgo \left(\begin{array}{l} \text{impactos climáticos} \\ \text{negativos predichos} \end{array} \right) - Adaptación \quad (\text{Ec. 4.2})$$

La vulnerabilidad varía mucho entre las comunidades, los sectores y las regiones. Esta diversidad del “mundo real” es el punto inicial para su evaluación. Las comparaciones internacionales de este paámetro suelen enfocarse en indicadores nacionales, por ejemplo, para agrupar a los países menos desarrollados o para comparar el progreso en el desarrollo humano entre los países con condiciones económicas similares. A nivel nacional, las evaluaciones de vulnerabilidad contribuyen a establecer prioridades de desarrollo y supervisar su progreso. Las evaluaciones sectoriales ofrecen más detalles y metas para planes estratégicos de desarrollo. A un nivel local o comunitario, pueden

identificarse los grupos vulnerables y establecer estrategias para hacerle frente a la vulnerabilidad mediante el uso de métodos participativos. Aunque las evaluaciones de la vulnerabilidad a menudo se llevan a cabo en una escala específica, existen interacciones significativas a través de varias escalas, debido a la interconexión de los sistemas económicos y climáticos. La vulnerabilidad debe ser evaluada en estado actual y futuro, y para ello se recomienda efectuarse de acuerdo a las siguientes actividades (PNUD, 2005).

- 1) Estructuración de la evaluación de vulnerabilidad: Definiciones, marcos y objetivos
- 2) Identificación de grupos vulnerables: Límites de exposición y evaluación
- 3) Evaluación de la sensibilidad: Vulnerabilidad actual del sistema seleccionado y grupo vulnerable
- 4) Evaluación de la vulnerabilidad futura
- 5) Vinculación de los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad con políticas de adaptación

Por lo que para poder determinar la vulnerabilidad de los diversos sectores en el estado, es imprescindible realizar los estudios correspondientes que identifiquen la situación actual y futura bajo condiciones de Cambio Climático. Esto con la finalidad de establecer estrategias de adaptación y prevención que permitan reducir los impactos sociales, económicos y eco-sistémicos de los sectores.

4.2 Análisis de vulnerabilidad del estado de Durango

El estudio de vulnerabilidad sectorial para el estado de Durango, se estableció bajo las siguientes consideraciones, que no necesariamente fueron las óptimas pero si fueron las que se pudieron establecer con el objeto de darle credibilidad a los estudios. Desafortunadamente, el estado no cuenta con un mapa estatal de riesgos, aunque se nos informó que la secretaría de protección civil del estado tiene proyectado en su Programa de Desarrollo la conformación de un documento estatal de riesgos. Por lo tanto, para poder definir los sectores vulnerables se generó una matriz de amenazas que históricamente han ocurrido en el estado, teniendo precaución de involucrar todas las

regiones geográficas y calificando los sectores que se ven más afectados por un evento climático extremo (Tabla 4.1).

El análisis de amenaza-riesgo fue desarrollado empleando información cualitativa proporcionada por los participantes referente a experiencias regionales, como parte del curso taller de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático¹ y mediante la información extraída del documento preliminar de riesgos elaborado por la CONAGUA-Delegación Durango (2008).

El análisis de la amenaza-riesgo del estado se efectuó mediante la observación de los eventos que históricamente suceden y su recurrencia, vinculándolos con los datos de las variables climatológicas obtenidas de las EM-SMN. Para ello se construyó una matriz de amenaza-sector-riesgo en donde se calificó el riesgo y/o el beneficio que se corre ante una amenaza natural, ver Tabla 4.2.

Para calificar la magnitud de riesgo o beneficio, se le asignó una ponderación numérica a cada código de color, el cual varía en intensidad como se muestra en la Tabla 4.3. Los valores negativos indican la magnitud del riesgo, mientras que los positivos representan el posible beneficio.

¹ Curso Taller de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático impartido en el Instituto Tecnológico de Durango, Abril 2011. Instructor M.A. Uriel Bando Murrieta, experto del INE en Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático.

Tabla 4.1 Amenaza-riesgo de los sectores del estado de Durango

Amenaza	Riesgo	Sector
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sequía ➤ Inundaciones ➤ Ondas de calor ➤ Incendios ➤ Tmax. extrema ➤ Tmin. extrema ➤ Aumento de la Pp promedio anual ➤ Heladas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución en la disponibilidad de agua ➤ Insuficiencia del suministro de agua a la población ➤ Disminución de nivel en cuerpos de agua ➤ Disminución de la producción acuícola ➤ Disminución de disponibilidad y recarga en cuencas hidrológicas ➤ Incremento de consumo de agua ➤ Disminución de la capacidad de retención del suelo ➤ Afectación a sectores por exceso de agua 	Hídrico
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución de la producción maderable y no maderable ➤ Erosión hídrica/Eólica ➤ Pérdida de masa forestal maderable y no maderable ➤ Pérdida de capacidad de captura de emisiones de GEI ➤ Incremento de proliferación de plagas ➤ Migración de especies vegetales y animales ➤ Pérdida de ecosistemas 	USCUS
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución de la producción Pecuaría ➤ Perdida de unidades por muerte ➤ Erosión de suelo por sobre pastoreo ➤ Aumento en el estrés térmico del ganado ➤ Disminución en la disponibilidad de alimento ➤ Pérdida de pastizales 	Ganadería
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución de la productividad ➤ Erosión hídrica y eólica ➤ Estrés hídrico ➤ Pérdida de cultivos en períodos fenológicos ➤ Estrés térmico ➤ Pérdida de fertilidad de suelos 	Agricultura
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución de rendimiento físico y mental ➤ Incremento de enfermedades gastrointestinales ➤ Incremento en el número de casos por deshidratación ➤ Incremento en casos de mortalidad ➤ Incremento en el número de caso de insolación ➤ Incremento en el número de casos por enfermedades por vectores ➤ Incremento en el número de casos por picaduras de animales ponzoñosos 	Salud
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausencia escolar ➤ Ausencia laboral ➤ Estrés térmico ➤ Disminución de la productividad ➤ Afectación a la economía ➤ Proliferación de conflictos sociales ➤ Aumento de la demanda energética por calefacción o aire acondicionado 	Social
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incremento de consumo energético por sistemas de enfriamiento/calentamiento ➤ Disminución de la producción por confort térmico ➤ Disminución en la producción de alimentos por pérdida de materias primas 	Industrial

Tabla 4.2 Análisis de la vulnerabilidad proyectada

Sector	Hídrico		Recursos Naturales		Agricultura		Energético		Social
	Almacenamiento / disponibilidad	Infraestructura	Ecosistemas	USCUS	Agrícola	Ganadería	Industrial	Doméstico	Salud
Tmax extrema > 42.6 °C	Reducción de la disponibilidad de agua. Variabilidad de la calidad de agua almacenada. Aumento de la estratificación del agua	Aumento de la demanda de agua. Incremento de la presión social por el servicio.	Incremento del estrés hídrico vegetal. Decremento de la humedad del subsuelo. Incremento poblacional de insectos. Migración de especies vegetales y animales	Se incrementan las condiciones previas de sequía. Disminuye la duración efectiva de las lluvias.	Decremento del rendimiento de producción. Disminución de la calidad de productos.	Aumento del estrés térmico del ganado. Disminución de la producción pecuaria. Diminución de calidad de productos pecuarios.	Aumento de demanda energética por sistemas de enfriamiento. Decremento de la producción alimentaria por descomposición de materias primas. Disminución de la producción por ausencia de confort térmico	Aumento de demanda energética por refrigeración y aire acondicionado. Afectación a la economía.	Incremento de casos de deshidratación. Incremento de casos de insolación. Aumento de mortalidad. Enfermedades gastrointestinales. Aumento de casos por picadura de animales ponzoñosos
Onda de calor + de 2 días > 42.6 °C	Reducción de la disponibilidad de agua.	Aumento de la demanda. Incremento de la presión social por el servicio	Decremento de la humedad del subsuelo. Incremento del estrés hídrico vegetal. Incremento poblacional de insectos. Migración de especies animales	Disminuye la duración efectiva de las lluvias. Se incrementan las condiciones previas de sequía.	Decremento del rendimiento de producción. Disminución de la calidad de productos.	Aumento del estrés térmico del ganado. Disminución de la producción pecuaria. Diminución de calidad de productos pecuarios.	Aumento de demanda energética por sistemas de enfriamiento. Decremento de la producción alimentaria por descomposición de materias primas. Disminución de la producción por ausencia de confort térmico	Aumento de demanda energética por refrigeración y aire acondicionado. Afectación a la economía.	Incremento de casos de deshidratación. Incremento de casos de insolación. Aumento de mortalidad. Aumento de Enfermedades gastrointestinales. Aumento de casos por picadura de animales ponzoñosos
Sequía	Reducción severa de la disponibilidad de agua.	Aumento de la demanda. Incremento de la presión social por el servicio. Disminución de la recargas de manto freático.	Decremento de la humedad del subsuelo. Incremento del estrés hídrico vegetal. Incremento poblacional de insectos.	Disminuye la duración efectiva de las lluvias. Se incrementan las condiciones previas de sequía. Aumento del	Decremento severo del rendimiento de producción. Disminución de la calidad de productos.	Aumento severo del estrés térmico del ganado. Disminución de la producción pecuaria. Diminución de calidad de	Aumento de demanda energética por sistemas de enfriamiento. Decremento de la producción alimentaria por descomposición	Aumento de demanda energética por refrigeración y aire acondicionado. Afectación a la economía.	Incremento de casos de deshidratación. Aumento de casos por picadura de animales ponzoñosos

			Aumento de la mortalidad de plantas y animales. Aumento del potencial de incendios. Afectación de infiltración y escurrimiento. Disminución de la capacidad de captura de emisiones de GEI	potencial de degradación del suelo por erosión eólica. Erosión se suelo por sobrepastoreo. Pérdida de pastizales.		productos pecuarios. Incremento de mortandad animal. Disminución en la disponibilidad de alimento.	de materias primas. Disminución de la producción por ausencia de confort térmico		
Incremento de Pp media anual > 1.5 %	Aumento en el almacenamiento y rendimiento En cuencas hidrológicas. Aumento de escorrentías.	Aumento de las recargas de manto freático y cuerpos receptores. Aumento de los niveles en presas. Disminución de la calidad del agua.	Cambio en las tasas de escurrimiento y aumento en el nivel de los ríos	Aumento del potencial de degradación del suelo por erosión hídrica. Aumento del potencial de la cubierta vegetal y la subsecuente disminución en el depósito de sedimento en presas y canales.	Disminución de rendimiento de producción por inundación de campos de cultivo. Pérdida de la fertilidad del suelo por lavado.	Mayor disponibilidad de alimentos para pastoreo.	Aumento de ausencia laboral. Aumento de accidentes laborales. Posible pérdida de bienes materiales por inundación.	Posible pérdida de bienes materiales por inundación. Afectación a la economía.	Aumento de enfermedades respiratorias. Aumento en la proliferación de vectores.
Tmin extrema < -8.5 °C	Reducción de la disponibilidad de agua. Aumento de la estratificación del agua	Incremento de la presión social por el servicio. Posible congelamiento de cuerpos receptores.	Incremento del estrés hídrico vegetal. Decremento de la humedad del subsuelo. Disminución poblacional de insectos.	Disminución de la producción maderable y no maderable. Pérdida de masa forestal.	Disminución de rendimiento de producción por congelación de cultivos.	Aumento del estrés térmico del ganado. Disminución de la producción pecuaria. Diminución de calidad de productos pecuarios.	Aumento de demanda energética por sistemas de calefacción. Disminución de la producción por ausencia de confort térmico	Aumento de demanda energética por sistemas de calefacción. Afectación a la economía.	Aumento severo de enfermedades respiratorias.

Tabla 4.3 Riesgos y oportunidades de las amenazas climatológicas

RIESGOS: CONSECUENCIAS NEGATIVAS			
BAJO	MEDIO	ALTO	EXTREMO
-1	-2	-3	-4
Los sistemas de control de riesgo actuales son suficientes para controlar la situación	Los sistemas de control de riesgo actuales casi siempre pueden controlar la situación	Este riesgo es lo más severo que puede ser aceptado como parte de lo normal	Los riesgos demandan atención especial y requieren de apoyos extraordinarios
OPORTUNIDADES: PROBABLES BENEFICIOS			
BAJO	MEDIO	ALTO	EXTREMO
1	2	3	4
No se obtiene beneficio alguno	Beneficios probables como parte de lo normal	Máximo beneficio aceptado como parte de lo normal	Beneficios extras que sobrepasan lo normal

Como resultado del análisis se obtuvieron dos conclusiones:

- a) La magnitud del riesgo/beneficio, como consecuencia de todas las amenazas que ocurren en el estado, indicó que los sectores de mayor vulnerabilidad son el hídrico y el agrícola (ver Figura 4.1). Sin embargo esto no significa que los otros sectores no sean vulnerables; en la Figura 4.1 se puede apreciar que el índice de riesgo/beneficio del sector salud muestra una diferencia de un punto, mientras que los sectores de ecosistemas, USCUS, industrial y doméstico muestran una diferencia de 2 respecto a los calificados como más vulnerables. Según el índice determinado el sector ganadería resultó ser el menos vulnerable.
- b) La magnitud con la que impactan las amenazas, aplicadas a todos los sectores, indicó que la amenaza de mayor contribución negativa es la sequía (ver Figura 4.2).

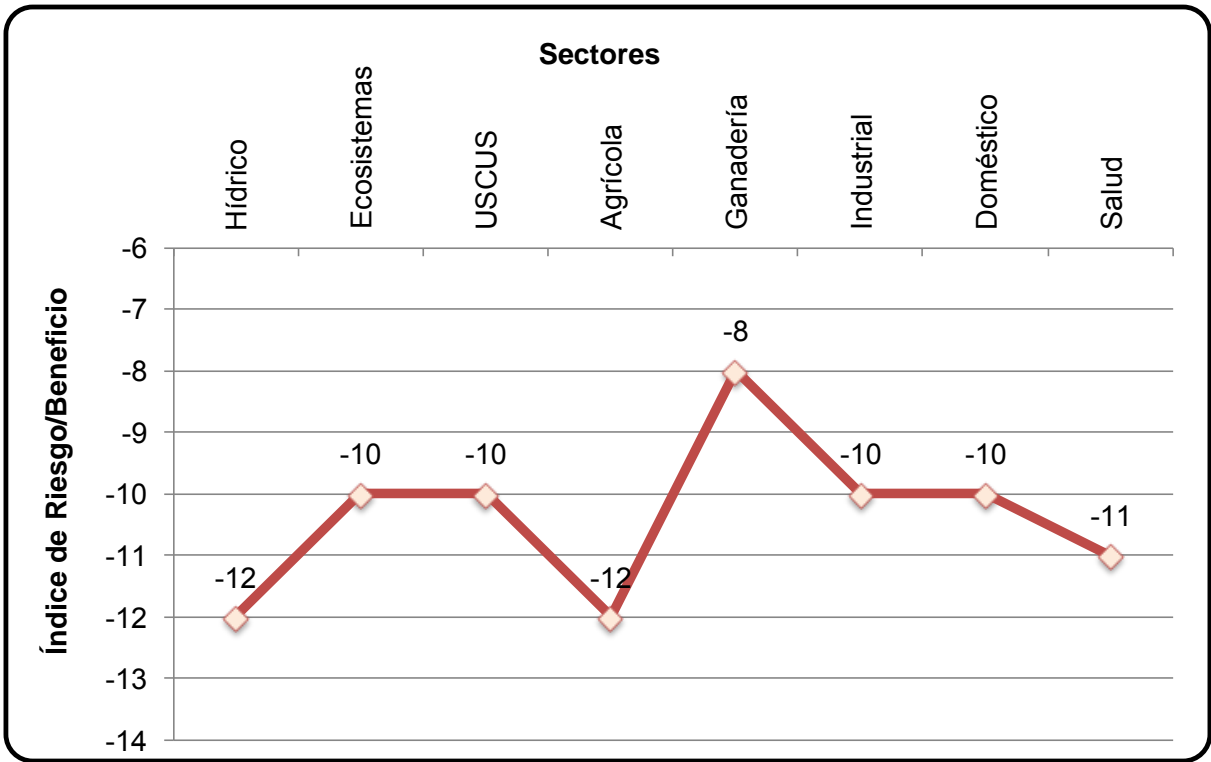


Figura 4.1 Evaluación del índice de riesgo/beneficio por sectores

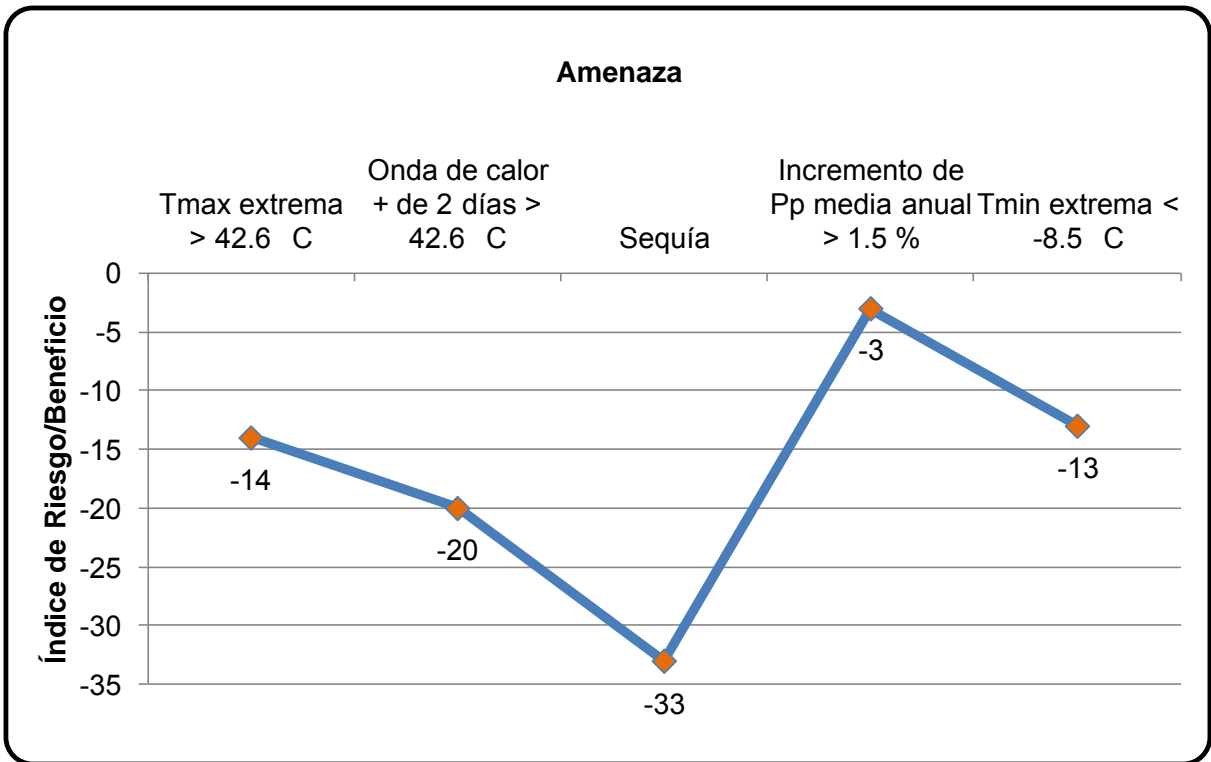


Figura 4.2 Evaluación del índice de riesgo/beneficio por amenazas

Particularmente, por la posición geográfica del estado, las amenazas meteorológicas que afectan a la mayor parte del territorio son: sequía, inundaciones, ondas de calor, heladas, incendios y temperaturas máximas/mínimas extremas. Solo una pequeña región al suroeste de estado, colindante con el estado de Sinaloa, se reconoce que se ha visto afectado por terremotos, pero no es generalizado en el estado. De manera específica se sugiere que se le dé un tratamiento regional a dicha situación.

En condiciones ideales se hubiese esperado contar con expertos locales en el área, con la disponibilidad de tiempo y con la capacitación adecuada y oportuna para desarrollar los estudios de vulnerabilidad climática de todos los sectores. A pesar de esto, se realizaron tres estudios para el sector Agrícola (uno de los más vulnerable) y uno para el sector USCUS. Los detalles específicos del impacto del Cambio Climático presente y futuro se presentan en el Capítulo 5.

Conviene recalcar que este documento es dinámico, por lo que las medidas de adaptación propuestas no están limitadas a los casos de estudios desarrollados, estas se extendieron a todos los sectores analizados bajo la premisa “lo que es evidente, no es necesario demostrarlo cuantitativamente, para establecer acciones”. Además con el afán de poder enriquecer este documento, se ha propuesto dentro de las convocatorias del COCyTED-FOMIX un área temática para desarrollar estudios de vulnerabilidad e impacto climático sectorial específicos.

4.3 Análisis de los escenarios climáticos y de demanda energética futuros

Los estudios de vulnerabilidad para el estado de Durango están fundamentados en dos fuentes científicas: 1) los escenarios climáticos que se desarrollaron considerando la climatología del estado y los escenarios climáticos regionalizados re-escalados para las tres variables Tmax, Tmin y Pp en 24 h, extremas y promediadas anualmente y 2) los escenarios de emisiones de GEI que se obtuvieron considerando la demanda energética histórica y el requerimiento futuro. Para todos los casos estudiados se consideró únicamente el esquema del Escenario A2 (escenario para el cual se describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico y tecnológico

regionalizado y lento) acotado a un periodo de estudio futuro de 30 años, excepto para los escenarios climáticos extremos que se analizaron hasta tres periodos futuros de tiempo.

4.3.1 Escenarios climáticos

a) Variables climáticas extremas

El estudio de escenario climático extremo incluyó 29 EM-SMN de las cuales 21 son del estado de Durango, y con el fin de representar de mejor manera las variables que caracterizan el clima en todo el territorio se agregaron 2 de Chihuahua, 2 de Coahuila, 1 de Sinaloa, 2 de Nayarit y 1 de Zacatecas. La metodología empleada puede verse en la sección 3.2.2.

b) Variables climáticas de medias anuales

Para el caso específico de estudios regionales de vulnerabilidad sectorial, se emplearon escenarios climáticos considerando las variables climáticas medias anuales esto debido a la utilidad requerida en la temática.

El estudio de la vulnerabilidad actual y futura de los suelos del Estado de Durango se realizó bajo un enfoque de delimitación de cuencas hidrográficas. Enfoque frecuentemente empleado y recomendado por la SEMARNAT (2009), debido a que está asociado a temas de gestión ambiental, ordenamiento territorial, desarrollo regional y gestión ambiental integrada, así como a todas aquellas acciones orientadas al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de una cuenca. Se consideraron dos variables dependientes: el índice de erosión hídrica y el índice de erosión eólica como función de las variables climáticas Tmax, Tmin y Pp como medias anuales.

Para el caso de los estudios del sector agrícola, además de los escenarios climáticos, se empleó la modelación de los rendimientos futuros del cultivo, mediante el modelo EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) el cual utiliza una serie de parámetros de entrada, respecto al clima, suelo y prácticas de manejo del cultivo para poder ejecutar las simulaciones.

Se consideraron un total de 45 EM-SMN seleccionadas para el estudio de vulnerabilidad; 31 pertenecen al estado de Durango, seis a Sinaloa, tres a Zacatecas, dos a Chihuahua, dos a Nayarit y una a Coahuila. y la metodología puede ser revisada en la Sección 5.2.4.

4.3.1.1 Escenarios climáticos de Tmax, Tmin y Pp extremas

De los escenarios climáticos obtenidos para las variables extremas se concluye que:

a) Tmax extrema

- **Primero**, el 15.87% de los escenarios futuros presentan tendencias semejantes con respecto al histórico con diferencias mínimas, ≤ 2 C, lo cual significa que en cualquiera de estos se esperarían eventos de Tmax extrema parecidos a los registrados en el histórico.
- **Segundo**, el 52.38% de los escenarios futuros presentan tendencias por arriba del mínimo aumento probable de 2°C hasta el máximo aumento probable previsto en el escenario A2 estimado de 5.4°C por IPCC (2007), lo cual significa que se tendrán eventos con temperatura calientes por encima del histórico; es decir, las temperaturas máximas serán más cálidas durante el verano.
- **Tercero**, el 31.75% de los Escenarios futuros, son divergentes con el histórico, con temperaturas > 5.4 y hasta 6.4°C de diferencia, condición que las coloca por arriba del peor escenario presentado en el IEEE y publicado en 4to. Informe del IPCC (2007) en y su relación con los cambios en la temperatura del planeta. Para este caso, los eventos extremos serán mucho más cálidos durante el verano que los dos anteriores.

b) Tmin extrema

- **Primer caso**, el 38.10% de los Escenarios futuros presenta tendencias semejantes, ante probables disminuciones de la temperatura por debajo de cero grados

centígrados, hasta - 4.8; condición bajo la cual se esperarían eventos más fríos durante el invierno que los registrados en el histórico.

- **Segundo caso**, el 36.51% de los Escenarios futuros presenta tendencias similares que se caracterizan por incrementos de temperatura mínima de hasta 2°C, siendo este valor semejante al mínimo aumento probable proyectado por el IPCC (2007).
- **Tercer caso**, el 25.4% de los Escenarios futuros, son aun más extremos que el Histórico, cuyo incremento de la temperatura probable es hasta 7.4°C; caso en el que de llegar a presentarse tendría efectos severos en todos los sistemas, tanto naturales como antrópicos.

c) Pp máxima en 24 h extrema

- **Grupo 1**, este grupo se define por 13 EMSMN, cuya Pp máxima en 24 h en el promedio de los Escenarios futuros su disminución probable alcanzará hasta - 20 mm. Los casos más críticos detectados en análisis son Cañón de Fernández (10004), Tlahualilo (10085) y J. Salomé Acosta (10035). Este comportamiento, indica que para la zona se tendrá una disminución en la disponibilidad de la humedad en el suelo, por la sequía y un incremento de la aridez.
- **Grupo 2**, este grupo se define por 4 EMSMN (10024, 10082, 10087, 10025), cuyas Pp máxima en 24 h para el promedio de los Escenarios futuros disminuyeron por arriba de - 20 mm y hasta - 49.5 mm. En cuyo caso se esperarían anomalías promedio de - 20.75% para el escenario A2-80; dato por cierto 144.6% mayor que el que reporta el INE-SEMARNAT (2012) para la precipitación media anual en el territorio mexicano; y para Durango alcanza un promedio de alrededor de - 3%.

4.3.1.2 Escenarios climáticos de Tmax, Tmin y Pp media anual

Para el caso de estudios de vulnerabilidad sectorial (suelos y agrícola) los escenarios generados arrojaron las siguientes conclusiones.

a) Tmax media anual

En la actualidad, en el estado de Durango la temperatura máxima media anual oscila alrededor de los 26.3°C, en la regionalización proyectada el escenario arrojó una temperatura de 27.4°C para los próximos 30 años, por lo cual dicha temperatura se espera incremente 1.1°C respecto a las condiciones actuales.

En la región del centro y noreste del estado se proyecta un incremento de la Tmax que comprende los valores por arriba de los 33°C en promedio anual. En esta región las estaciones que elevaron su promedio anual de temperatura máxima, se encuentran los municipios de Cuencamé, Indé y Mapimí que resultaron con un aumento de 2.1, 2 y 1.7 °C respectivamente, junto con Tamazula que incrementó su temperatura promedio anual en 1.9°C este localizado en la parte Oeste del Estado. Una de las regiones en donde se presenta un notable incremento de Tmax media anual es en la región de los Valles; para identificar las áreas de impacto referirse al mapa de anomalía climática (Sección 5.2.6.1).

b) Tmin media anual

En lo que se refiere a la temperatura mínima promedio anual, el estado se mantiene cercano a los 8.9°C; y el escenario A2-20 producido arrojó una temperatura promedio de 9.2°C, por cual en promedio se espera que la temperatura mínima incremente 0.3°C. El mapa de anomalía muestra que en la parte norte del estado es en donde se presentan aumentos de temperatura, la estación que presentó el valor más alto fue El Palmito en el municipio de Indé, la cual tuvo un aumento de 1°C (Sección 5.2.6.2).

c) Pp media anual

La anomalías de la parte noroeste del estado, en las que se encuentran El Tarahumara (Tepehuanes) y Topia (Topia), se espera que la Pp disminuya en promedio de 240 mm; en la parte noreste del estado solo la estación climatológica de Cañón de Fernández la cual registra una precipitación de 310 mm, presentó una disminución de 180 mm, lo cual se podría convertir en una situación crítica por la disminución en su promedio anual.

En la parte sur-suroeste del estado, se presentan los incrementos más significativos, se espera que las estaciones que comprenden los municipios de Santiago Papasquiaro, Tamazula, Canelas, Canatlán y Durango sean los lugares con mayor incremento en el promedio anual respecto a la precipitación. Estos incrementos en la precipitación, coinciden con lo que se espera suceda en muchas partes del mundo (Secón 5.2.6.3).

4.3.2 Escenarios de demanda energética

En el escenario BAU, para el año base (2005), la categoría Energía del estado demandó 138,940.80 miles de Gigajoules (Terajoules) y para el año 2030 la demanda esperada será de 452,310.95 Terajoules. Esto representa un incremento de la demanda requerida de 225.54% en 25 años; es decir un crecimiento con una TCA promedio de 4.85%, lo que significa un reto que tienen que salvar los tomadores de decisiones para garantizar la demanda futura (Sección 3.4.3).

4.4 Resultados de los estudios de vulnerabilidad sectorial

En esta apartado se presentan los resultados más relevantes de los estudios de vulnerabilidad realizados

4.4.1 Vulnerabilidad del sector USCUSyS por erosión hídrica y eólica.

La tasa de erosión laminar histórica, 1970 al 2010, en el territorio del Estado de Durango se estimó en un rango de 0.02 a 163 toneladas por hectárea por año (t/ha·año),

presentándose el valor más alto en la Región Hidrológica (RH) Sinaloa, justamente al noroeste del Territorio en la Sierra Madre Occidental (Figura 5.1.20).

Sin embargo, el efecto de menor lluvia en el promedio anual para el escenario A2-20 sobre la erosión laminar al compararlo con el histórico, indica por consecuencia una disminución para el rango más alto (163.8–159.2 t/ha·año) de erosión laminar de 4.6 t/ha·año; esto, es sin considerar cambios positivos o negativos en la vegetación o en la intensidad de la lluvia como se ha estimado por medio de estudios de variabilidad climática en relación a la lluvia de todo el país. Para mayor información sobre detalles del estudio, remitirse a la sección 5.1.

4.4.2 Vulnerabilidad del sector Agrícola

En el sector Agrícola se desarrollaron tres estudios de cultivos prioritarios en el estado como son el Maíz, Frijol y la Avena Forrajera. Para todos los casos se emplearon los mismos escenarios climáticos (Anexo 5.2), pero los rendimientos proyectados fueron simulados con correlaciones específicas.

Tanto a nivel país como a nivel estado, gran parte de la agricultura se desarrolla en la modalidad hídrica de temporal, situación que la expone grandemente a los cambios en la frecuencia e intensidad de la precipitación y a la incertidumbre climática. El balance hídrico en el suelo es la variable decisiva en el ciclo de desarrollo de los cultivos.

4.4.2.1 Vulnerabilidad del Maíz de temporal por estrés hídrico

Los resultados sugieren en base a los escenarios realizados, que se tendrán incrementos tanto en la variable temperatura máxima como mínima, así como en la variable precipitación para algunos sitios. También se prevé disminución en las variables climáticas para otras regiones del estado.

Referente a los rendimientos de Maíz (kg/ha) se espera una serie de incrementos en las partes altas del estado con un gradiente de disminución hacia las partes bajas. Se espera que la condición para este cultivo mejore en base a las salidas de los escenarios

generados, sin embargo, estos resultados son solo una aproximación a lo que puede suceder basado en el escenario utilizado.

En el estado de Durango, el Maíz es una fuente de ingresos importante para el agricultor, en los últimos 10 años en promedio se sembraron 166,459 ha de secano, con rendimiento promedio de 866 kg/ha y una producción de 125,598 t (CEVAG, 2005). De los municipios que tienen el rendimiento mayor al promedio estatal se encuentra Guadalupe Victoria con 1.32 t/ha y los municipios de San Pedro del Gallo, Rodeo y Nazas, con un promedio de 1.30 t/ha. Solo dos municipios presentan los rendimientos muy bajos, que corresponden a los municipios de Guanaceví y de Canatlán con 0.46 y 0.69 t/ha, respectivamente.

Los rendimientos de Maíz proyectados para el periodo A2-20 (Figura 5.2.12) muestra que las zona del centro y norte del estado mejoren su aptitud en cuanto a rendimiento, los municipios de Guanaceví y Canatlán que eran los municipios que presentaban los rendimientos bajos, ahora se convierten en los sitios, junto con Durango y Canelas, como los lugares que se espera tengan un mejor rendimiento debido a que sus incrementos oscilan entre las tres a cuatro t/ha. Solo Cuencamé y Tlahualilo son los lugares en los que se espera que el rendimiento aumente de 100 kg/ha hasta una t/ha.

Puede concluirse que en base a la humedad de ambiente y de suelo proyectado, las zonas actuales aptas a la producción de Maíz dejarán de serlo, mientras que otras se podrán convertir en zonas productoras. Sin embargo, se debe tener en cuenta el uso de suelo actual y el cambio de uso de suelo futuro para evitar reducir la franja forestal para convertirla en zona de cultivo. Por eso es recomendable planear acciones de adaptación para conservar los rendimientos adaptando las temporadas de siembra, mejorando variedades o bien mejorando técnicas de labranza.

4.4.2.2 Vulnerabilidad del Frijol de temporal por estrés hídrico

En la Figura 5.3.7 se observa la distribución espacial del rendimiento de Frijol de temporal de los datos históricos, observando que los municipios con mayor rendimiento por hectárea son Indé, Hidalgo, gran parte de Mapimí y Tlahualilo, una parte del municipio de El Oro, Santiago Papasquiaro, Tamazula y San Dimas cubriendo en su totalidad al municipio de Otáez; con un rendimiento de 0.8 a 1.0 t/ha. Gran parte del estado con un

rendimiento que va desde 0.6 a 0.7 t/ha, una gran parte de los municipios de Tamazula, Pueblo Nuevo y El Mezquital los que presentan un rendimiento que va desde 0 a 0.2 t/ha.

Para la siembra en junio, se proyecta en el escenario A2-20, un incremento prácticamente en la totalidad de los municipios con rendimientos de 1.0 hasta 2.3 t/ha, teniendo el municipio de Indé el mayor rendimiento de 1.3 t/ha. Para la siembra del mes de julio, no se observan diferencias importantes en comparación con la siembra de junio, mostrando casi las mismas condiciones para todos los municipios; Indé que es el municipio que presenta una tendencia a un rendimiento superior al de los demás municipios, con un incremento de 0.2 t/ha, en relación a la que presentó para el mes de junio.

4.4.2.3 Vulnerabilidad de la Avena Forrajera por estrés hídrico.

La Avena Forrajera es el tercer cultivo mas importante en el Estado después del Frijol y el Maíz y el uso principal de este cultivo es como forraje, es de bajos requerimientos de agua y con buena adaptación a los climas templados semiáridos en el estado (CEVAG, 2005).

De la superficie destinada a la agricultura de temporal en el Estado de Durango, en promedio anualmente se siembran aproximadamente 54,999 ha de Avena Forrajera de las cuales se cosecha aproximadamente el 91% reportado por el SIACON (2010) para el periodo de 1980–2010. Se puede observar un incremento en la superficie destinada a este cultivo a partir del decenio de los 90's, en donde el rendimiento histórico promedio oscila en las 7 t/ha.

Como se puede ver en el Anexo 5.4, los rendimientos van desde 6 t/ha hasta 14 t/ha. Sin embargo, tomando como fecha de siembra el mes de mayo, los rendimientos en la mayoría de los sitios a lo largo del estado presentan un decremento; lo cual se puede ver en los rangos del mapa ya que el valor máximo oscila en las 8 t/ha. Los mayores rendimientos se sitúan en el centro del estado manteniéndose un gradiente hacia los valles, que es la parte donde se esperaría que los rendimientos fueran más bajos, en promedio los rendimientos oscilan en las 5 t/ha.

Realizando la modelación y estableciendo la fecha de siembra en el mes de Junio (Anexo 5.4), la situación se mantiene similar. Respecto a los rendimientos, estos ligeramente

aumentan en algunos sitios, sin embargo en algunos decrecen. Por ejemplo, para Santiago Papasquiario en el mes de mayo la modelación arrojó un rendimiento de 6.5 t/ha y para el mes de junio se redujo a 5.9 t/ha, esta situación se presentó en otros municipios como Tepehuanes, Topia y Canatlán.

Por otro lado, los rendimientos se incrementaron en el municipio de Guanaceví; en mayo resultó con un rendimiento de 6.9 t/ha mientras que en Junio se incrementa 7.5 t/ha; en la estación Peña del Águila de 7.0-7.4 t/ha, entre otros. Los aumentos son variables modificando la fecha de siembra, y los cuales oscilan alrededor de 0.3-0.6 t/ha de rendimiento. Ahora lo anterior obedece a los escenarios de precipitación que se obtuvieron y en base a la matriz con las probabilidades condicionales de lluvia que fueron ingresadas al modelo de cultivo.

Por lo tanto, sería deseable contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como con diagnósticos precisos de la vulnerabilidad que permitan construir valoraciones dinámicas del riesgo. Sin embargo, se debe tener claro que los escenarios no son del todo precisos dada la variabilidad natural del clima, sumado a la actividad humana que repercute considerablemente en el proceso.

4.5 Análisis de la demanda de Energía Eléctrica en el subsector Residencial

El sector energético es particularmente importante considerando que la demanda energética se incrementará de manera natural en base al crecimiento poblacional de las zonas urbanizadas. Pero aunado a esto, se encuentran las forzantes del Cambio Climático; como son la elevación de Tmax extrema y Tmax media en la mayor parte del territorio estatal, acentuándose aún más en la región del semidesierto, en donde se encuentra ubicada la comarca lagunera. Consecuentemente, los requerimientos energéticos futuros en un escenario A2-20 pronostican demandas que aumentaran hasta en un 225.24% respecto al año base (2005). Específicamente, existen dos subsectores de importancia especial como son Residencial e Industria de Generación de EE, el primero porque va de la mano con el crecimiento poblacional y el segundo simplemente porque es el proveedor del servicio.

La población urbana en el 2005 representaba el 64% (INEGI, 2010) y se concentra en tres ciudades Victoria de Durango, Gómez Palacio y Lerdo; y debido a la situación insostenible que las zonas rurales se prevé una alta migración de población a los centros urbanizados lo cual acrecentaría la demanda energética. La proyección de las casas habitación 2005-2030 prevé un incremento del 43.3 % (Partida, 2010).

Para el año base (2005), el sector residencial requirió de 3726.65 TJ en energéticos de los cuales 1769.91 TJ corresponden a EE y el remanente a Energía por quema de combustibles fósiles en los hogares. La proyección al año 2030 establece que el sector requerirá de 3249.01 TJ de EE lo que representa un incremento del 83.61%. La distribución de la EE en el sector residencial puede observarse en el escenario generado con LEAP y presentado en la Figura 4.3.

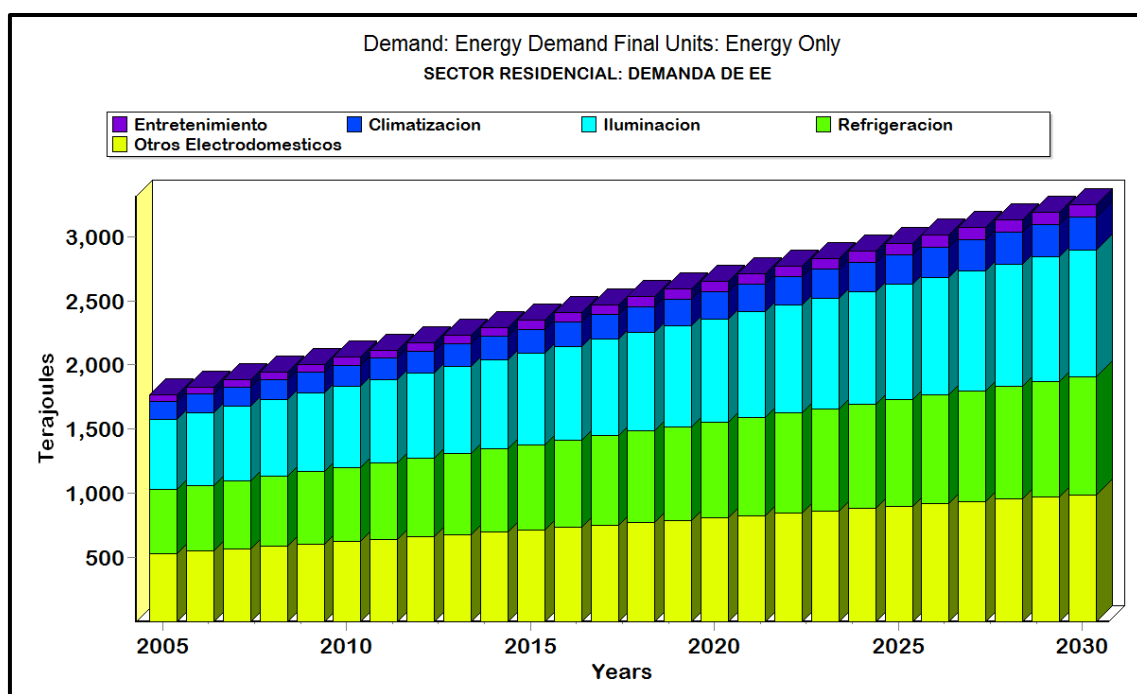


Figura 4.3 Escenario de demanda de EE en el subsector Residencial del estado de Durango

CAPÍTULO V

ESTUDIOS DE LA VULNERABILIDAD SECTORIAL AL CAMBIO CLIMÁTICO

En el presente capítulo se presentan cuatro estudios de vulnerabilidad realizados, el objetivo de los mismos fue la de evidenciar el efecto del Cambio Climático en los sectores más vulnerables del estado. Idealmente se hubiese querido que al menos se realizara un estudio por cada sector y que este a su vez fuera representativo de todas las regiones del estado. Sin embargo, por cuestiones de tiempo y capacidades en el área del conocimiento los estudios se acotaron a lo que fue posible desarrollar por los investigadores de la región. Se propone, continuar fomentando las capacidades para desarrollar los estudios faltantes e incorporarlos al PEACC-Durango en un futuro próximo.

En la Tabla 4.1 se presentó la matriz de Amenaza-Riesgo realizada para el estado, en ella se resalta que el sector Hídrico resultó ser el más vulnerable, conclusión que empata con lo reportado en los estudios realizados a nivel país. Sin embargo, considerando las capacidades técnicas locales con las que se cuenta en el estado, la ausencia de bases de datos de información histórica y el tiempo disponible para la realización de los estudios, limitaron el proyecto a solo realizar estudios en los sectores de USCUSyS y Agricultura. Cabe aclarar que este proyecto es susceptible de ser modificado e incluso incorporarle nuevos estudios de vulnerabilidad del resto de los sectores. De hecho se propuso como eje temático para futuras convocatorias de Fondo Mixtos en la sección de demandas específicas.

Los estudios aquí presentados son:

- 5.1. Evaluación de la Vulnerabilidad de los Suelos del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático
- 5.2. Evaluación de la Vulnerabilidad del Maíz de Temporal del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático
- 5.3. Evaluación de la Vulnerabilidad del Frijol de Temporal del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático
- 5.4. Evaluación de la Vulnerabilidad de la Avena Forrajera del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático

5.1 Evaluación de la Vulnerabilidad de los Suelos del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático



5.1.1 Resumen de vulnerabilidad de suelos

El riesgo ambiental por razones de exposición geográfica y condiciones topográficas que significa la erosión no debe limitarse solamente a la cuantificación de suelo perdido, o sus efectos que traen consigo los azolves en obras de infraestructura hidroagrícola como se da comúnmente en canales de conducción de agua de riego, presas de almacenamiento y áreas de cultivo, sino que va más allá, porque su magnitud representa el grado de deterioro de los cauces y las fuerzas que contrarrestan el efecto erosivo del agua y el viento, el sistema radicular de las plantas; pues afecta el funcionamiento de sistemas naturales y humanos, con lo que se elevan los costos de adaptación; los sistemas naturales por ejemplo, pierden capacidad de sustentación biótica, y en los sistemas productivos les resta viabilidad económica. Para cuantificar el grado de vulnerabilidad actual y futura de los suelos del estado de Durango ($26^{\circ} 48'$ y $22^{\circ} 19'$, latitud Norte; $-102^{\circ} 28'$ y $-107^{\circ} 11'$ longitud Oeste), se determinaron las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) de acuerdo a las características del medio físico de todo su territorio. Se estima que por su condición de exposición los suelos del territorio duranguense históricamente han perdido un promedio de $163.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y en el escenario futuro para el periodo 2010-2030 podría ser menor conforme a la disminución de las precipitaciones, aunque el efecto erosivo del viento tendrá que ser evaluado considerando las variaciones climáticas ampliamente documentadas en la literatura.

5.1.2 Introducción de la vulnerabilidad de suelos

La evaluación más reciente sobre el ambiente y los recursos naturales de México, indica que el estado de Durango hasta 2005 tuvo una superficie afectada, por erosión hídrica y eólica, de alrededor de 4.9 millones de hectáreas que representaron el 40.26% de la superficie estatal (12,258,000 ha) y el 12.16% del total nacional afectado estimado en 40.3 millones de hectáreas (SEMARNAT, 2005; Garrido y Cotler, 2010); esto debido a características fisiográficas donde se combinan ambientes secos y de montaña, condición bajo la cual se produce una fragilidad mayor de los suelos (UN-AGENDA 21, 1992; Cotler, 2007).

Los estudios de vulnerabilidad son la base para definir acciones de adaptación y mitigación al Cambio Climático (Cárdenas, 2010). En regiones cuyos recursos se encuentran en una situación crítica, como los suelos del estado de Durango (Magaña-Rueda, 2010; El Siglo de Durango, 2011), la fragilidad de un sistema se detecta por los impactos debido a una condición de exposición y su grado de sensibilidad, el cual tiene por lógica una cierta capacidad de adaptación según el rango de fortaleza particular que tenga (Ojeda *et al.*, 2010; Vázquez, 2010. Garrido y Cotler, 2010).

Aunque también hay que reconocer que el uso del suelo es un tema muy discutido cuando se aplican criterios ambientales, sociales y económicos, puesto que se trata de las intervenciones humanas en la naturaleza. El carácter de la intervención y las características del ecosistema definen que tan significativo es el daño, pues la pertinencia de la actividad y la resiliencia (resistencia y capacidad de recuperación) del sistema natural definen si el costo valió la pena (Medellin, 2002).

La forma más racional de abordar las decisiones sobre el uso del suelo es mediante el Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) que es un instrumento en la política ambiental previsto en la legislación vigente de México, de tal manera que la evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual se establecen las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico (LGEEPA, 1988).

En la actualidad Durango cuenta con instrumentos de regulación de uso del suelo y protección ambiental (LGASED, 2011) y un Modelo de Ordenamiento Ecológico (MOE) promulgado desde enero del 2009 para que las entidades de gobierno lo utilicen como un instrumento de planeación de uso del suelo, y con base en este se formulen leyes, reglamentos, programas y proyectos acordes con la vocación natural del suelo, a fin de revertir los procesos de deterioro del ambiente (POED, 2009).

Los estudios de uso del suelo en actividades primarias, tales como las agrícolas, ganaderas y forestales, deben estar basados en Normas Oficiales Mexicanas (NOM), destacando para ello dos de ellas: 1) la NOM-021-RECNAT-2000, y 2) la NOM-023-RECNAT-2001, donde se establecen respectivamente, las especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis; así como las relacionadas con la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos; en ambas regulaciones el concepto de suelo se define como:

“Colección de cuerpos naturales formados por sólidos (minerales y orgánicos), líquidos y gases, que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones, y transformaciones de energía y materia; o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.”

Derivado de lo anterior, el propósito del presente estudio fue evaluar la vulnerabilidad actual y futura de los suelos del estado de Durango, considerando el grado de exposición y sensibilidad ante la amenaza del Cambio Climático relacionada con los cambios en la intensidad y distribución de la lluvia.

5.1.3 Antecedentes del estudio

5.1.3.1 Vulnerabilidad del suelo

Los suelos son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ya que ofrecen el soporte y el suministro de nutrientes a los cultivos y la cobertura forestal. Los suelos cumplen además otras funciones igualmente trascendentes, como constituir un

medio filtrante que permite la recarga de los acuíferos, influyendo de este modo en la calidad del agua. Asimismo, constituyen el medio donde se realizan los ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos y tienen la capacidad de filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y detoxificar materiales orgánicos e inorgánicos (Garrido y Cotler, 2011; Kumar *et al.*, 2011).

Uno de los principales factores que influyen en el deterioro de los ecosistemas es la degradación del suelo que se relaciona con los procesos inducidos por el hombre, que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana. Los fenómenos de degradación merman la calidad de los suelos, entendida ésta como la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sosteniendo la productividad vegetal y animal, manteniendo o mejorando la calidad del aire y del agua, y sustentando la salud humana (Cotler, 2007; IPCC, 2007; Zalewski, 2011).

Evolución del concepto de vulnerabilidad en el contexto del Cambio Climático

Los estudios del fenómeno de la erosión del suelo, formalizados por el Departamento de Agricultura a través de la creación del Soil Conservation Service (USDA) para la década de los años 20's del siglo pasado, con el descubrimiento del efecto del salpicamiento de la lluvia en 1950 y el desarrollo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo EUPS, han tenido un fuerte enfoque sobre los aspectos relacionados con los disturbios humanos debido principalmente a la labranza, la resistencia del suelo y el efecto de la lluvia en el desprendimiento, sellado y formación de flujo, donde destacan dos de sus principales exponentes: Kirby (1980) y Morgan (1986).

No obstante las fuertes críticas sobre la validez del modelo antes mencionado (EUPS), debido a que este fue diseñado para las regiones agrícolas de los Estados Unidos de América, que no incluyó el efecto de la pedregosidad, factor que fue advertido en los trabajos realizados por Figueredo y Poesen (1997), así como los realizados por Nyseen *et al.*, (2001), y sobre todo a la inconsistencia en cuanto al manejo de unidades que también pone de manifiesto Porta *et al.*, (1999) por más de 50 años se ha mantenido su influencia

en países de América Latina y el Caribe, mediante una de las obras más importantes desarrolladas en México: el Manual de Conservación del Suelo y del Agua (CPSARH-SPP, 1991).

Así también, hay una buena cantidad de trabajos que analizan la erodabilidad desde el punto de vista de las variables que dan la cualidad de resistencia del suelo al impacto de la lluvia, como son: textura, contenido de materia orgánica, estabilidad estructural y permeabilidad, (Morris, 1985; Sene *et al.*, 1985; Koolen, 1987; Gerard, 1987; Remjam *et al.*, 1998; y Cecilio *et al.*, 2004, entre otros).

Aunque, ahora parece obvia la relación entre el Cambio Climático y la erosión del suelo, Gutiérrez-Elorza (2006) dice que hasta antes de la década de los 90's no estaba clara la relación entre el Cambio Climático y la respuesta de la vegetación y entre la vegetación y la respuesta geomorfológica.

Es así que hasta principios de la presente década se trabaja más intensamente sobre estas relaciones, cuyos principales exponentes son: Pruski y Nearing (2002), Cecilio *et al.*, (2003), Zhang *et al.*, (2004), y Monte *et al.*, (2005), entre otros, quienes dicen que es ineludible explorar nuevos enfoques de análisis e incorporar elementos emergentes como resultado del Cambio Climático. Particularmente, Pruski y Nearing (2002), basan sus estudios bajo el supuesto de que el impacto del Cambio Climático continuará durante un largo tiempo, y su manifestación más directa se dará en los patrones de lluvia y temperatura, que afectará a su vez los patrones de erosividad de las regiones agrícolas del mundo.

5.1.3.2 Estudios de vulnerabilidad: valoraciones y métodos

Las tres principales causas de la degradación de los suelos en el mundo son: sobrepastoreo (35%), la deforestación (29%), y las prácticas agrícolas inadecuadas (28%), siendo México uno de los países donde se ha acentuado esta problemática; pues se ha documentado que presenta problemas de degradación en el 47.73% de su superficie, con

cuatro tipos predominantes: química (16.36%), eólica (14.99%), hídrica (12.04%), y física (4.35%) (SEMARNAT-UNDP, 2005).

Contexto nacional y estatal

La evaluación más reciente sobre el ambiente y los recursos naturales de México, indica que el estado de Durango hasta 2005 tuvo una superficie afectada, por erosión hídrica y eólica, de alrededor de 4.9 millones de hectáreas que representaron el 40.26% de la superficie estatal (12,258,000 ha) y el 23.16% del total nacional afectado, estimado en 40.3 millones de ha (SEMARNAT, 2005; Garrido y Cotler, 2010); esto debido a características fisiográficas donde se combinan ambientes secos y de montaña, condición bajo la cual se produce una fragilidad mayor de los suelos (UN-AGENDA 21, 1992; Cotler, 2007).

Más allá de lo antes mencionado, pese a la gran importancia que tienen los sistemas de producción primaria, como los localizados en la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, y ser una zona forestal comercialmente importante que sirve de recarga de agua para las cuencas del Océano Pacífico y del interior del centro norte del país (Cotler, 2007) pocos son los estudios que dan cuenta de la magnitud del impacto de las prácticas de manejo; Dueñez-Alanis *et al* (2006) encontraron que los cambios de uso del suelo, comparados con prácticas de aclareo, son las que mayor impacto tienen en el bosque de clima templado de Durango.

Desde la década de los años 40's del siglo pasado se ha venido indagando la magnitud de la degradación de los suelos del territorio mexicano, pero los esfuerzos más recientes comenzaron en los 1990's y han incluido no sólo la erosión sino también los varios procesos, particularmente aquellos relacionados con las actividades humanas, que conducen a la degradación del suelo (SEMARNAT, 2005).

En 1997, la SEMARNAT produjo una carta escala 1:4'000,000 como resultado de la Evaluación Nacional de Degradación de Suelos. Esa carta fue luego utilizada como la base para obtener una evaluación más detallada (a escala 1:1'000,000) en 1999, que

mostró que el 64% de los suelos del país estaban afectados por varios tipos y niveles de degradación y que sólo el 23% del país estaba ocupado por suelos que, de manera estable, sostenían actividades productivas, sin degradación aparente (SEMARNAT, 2005).

Aunque la evaluación de 1999 aportó información muy valiosa, su pequeña escala la hacía inadecuada para la toma de decisiones y para diseñar programas de manejo o de restauración de suelos. Por esta razón, en 2001-2002, y como parte del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, la SEMARNAT confirió la realización de una evaluación exhaustiva y más detallada (escala 1:250,000) de la degradación de los suelos inducida por el hombre.

Con base en dichos estudios recientemente se reportó que en poco más del 81 % de las 393 cuencas hidrológicas en las que se divide el territorio nacional 1'866,721 km² presenta algún grado de afectación de los cuatro tipos principales que reportan Garrido y Cotler (2010) en un estudio titulado: Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México (Tabla 5.1.1).

Tabla 5.1.1 Procesos dominantes de la degradación del suelo en las cuencas de México

Tipo	N° de cuencas	Área (km ²)	% Sup. Nacional
Degradación química	129	665,842	34
Erosión hídrica	81	573,379	29
Erosión eólica	80	595,459	31
Degradación física	30	32,041	2
Sin degradación	73	76,039	4

Metodologías empleadas

En los estudios de erosión potencial se han empleado dos ecuaciones propuestas por la FAO: la ecuación universal de pérdida de suelo EUPS o USLE para la erosión hídrica y la ecuación de erosión eólica (WEE, por sus siglas en inglés) para el otro caso, los cuales toman como base información generada en el primer quinquenio del siglo XXI, del 2000 al 2005 (SEMARNAT, 2005).

Más recientemente se publicó el mapa de erosión potencial para 27 regiones hidrológicas que conforman el territorio nacional, empleando para ello también la fórmula USLE, pero solo se describen resultados para la Región Hidrológica No. 12 que se encuentra conformada principalmente por los estados de Jalisco, Nayarit, Zacatecas, Guanajuato, y en una menor proporción por Durango, Michoacán, Querétaro y el estado de México (Montes-León *et al.*, 2011).

5.1.4 Marco metodológico empleado

5.1.4.1 Unidad básica de estudio

El estudio de la vulnerabilidad actual y futura de los suelos del estado de Durango se realizó bajo un enfoque de delimitación de cuencas hidrográficas. Enfoque frecuentemente empleado y recomendado por la SEMARNAT (2009), debido a que está asociado a temas de gestión ambiental, ordenamiento territorial, desarrollo regional y gestión ambiental integrada, así como a todas aquellas acciones orientadas al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de una cuenca.

Con base en lo anterior, la unidad de estudio se basa en noción de cuenca hidrológica, que por definición es un área integrada por un sistema de corrientes superficiales delimitada por un parteaguas, el cual se identifica por las cotas más altas en un sistema de relieve (Branson *et al* 1981). Para este caso, la delimitación de cuencas hidrológicas realizada por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1998) en Durango están representadas siete Regiones Hidrológicas y 17 cuencas, cuyos nombres se asocian a los ríos que se forman en diferentes sistemas de corrientes superficiales (Figura 5.1.1).

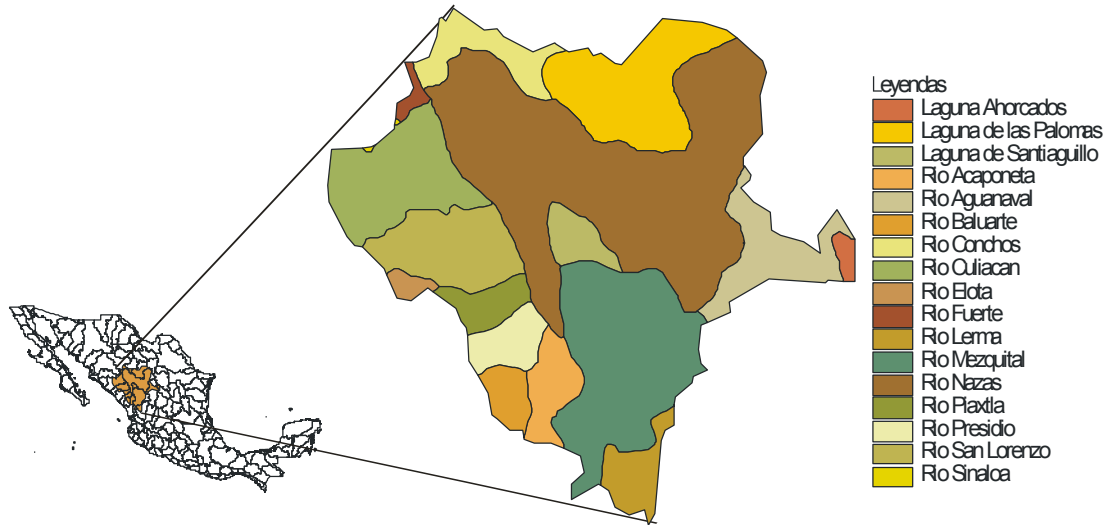


Figura 5.1.1 Cuencas hidrológicas del estado de Durango.

5.1.4.2 Enfoque de vulnerabilidad

Los estudios de vulnerabilidad son la base para definir acciones de adaptación y mitigación al Cambio Climático. En regiones críticas la vulnerabilidad de un sistema (VS) se detecta por los impactos (I) debido a una condición de exposición (E) y su grado de sensibilidad (S), el cual tiene por lógica una cierta capacidad de adaptación (CA) según el rango de fortaleza particular que tenga (Ojeda *et al.*, 2010), cuya representación algebraica es la siguiente Ec. 5.1.1.

$$VS = f(I - CA) = f(E + S - CA) \quad (\text{Ec. 5.1.1})$$

Por ejemplo, en los sistemas de control de la erosión del suelo en cárcavas, la vida útil y la resistencia a corrientes fluviales inesperadas dependerán de la calidad de los materiales, donde está implícito el costo económico y de los programas de ejecución de mantenimiento (CP-SARH-SPP, 1991); es decir, la vulnerabilidad del sistema de conservación estará en función de la magnitud del impacto de lluvias extraordinarias en escenarios adversos de Cambio Climático el cual estará atenuado de acuerdo a la capacidad de resistir el impacto.

5.1.5 Técnicas de análisis y herramientas de trabajo

5.1.5.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

El esquema conceptual clásico para el estudio y análisis del fenómeno de la erosión (hídrica y eólica), tiene como eje central la vulnerabilidad o erodabilidad, que la Norma Oficial Mexicana (NOM-060-ECOL, 1994) define como: “...la facilidad de desprendimiento de las partículas y materiales que conforman un suelo, dependiendo de las fuerzas cohesivas que las mantengan unidas”. Fuerzas que pudieran expresarse en la capacidad que el mismo suelo tiene de modo natural, o que le proporciona la acción del hombre mediante buenas prácticas de manejo para resistir el desprendimiento y arrastre de las partículas que lo componen por la acción de los factores ambientales como son el agua y el viento principalmente (Figura 5.1.2).

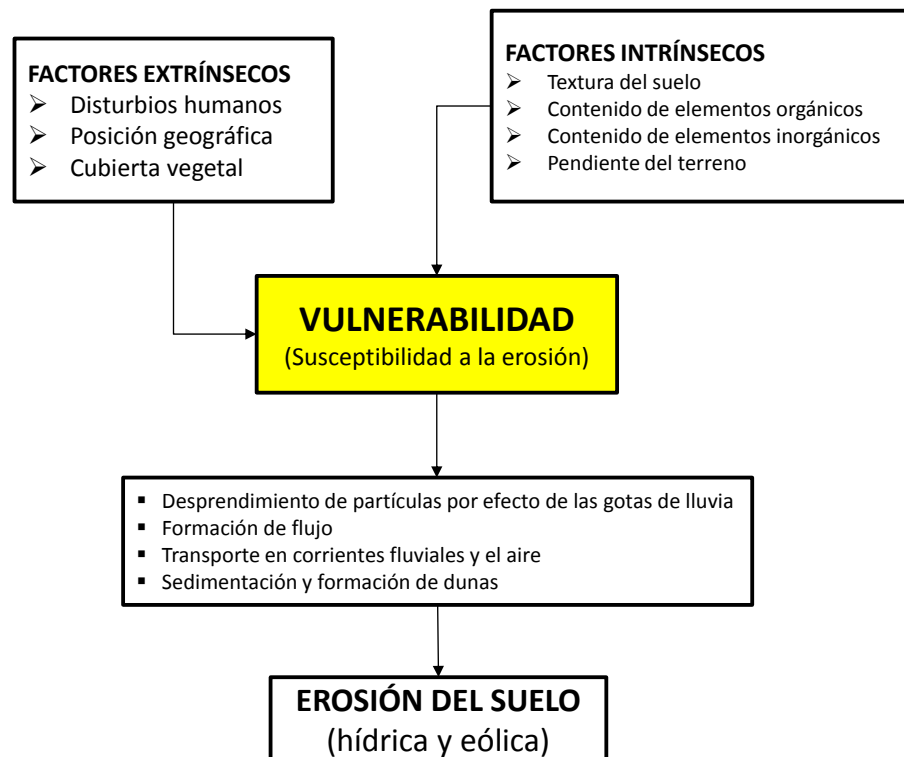


Figura 5.1.2 Esquema teórico para el análisis de la erosión del suelo

(Fuente: Elaboración personal con base en Kirby y Morgan, 1980; y Morgan, 1986)

Bajo este esquema teórico, el ejercicio consiste en determinar la cantidad de suelo erosionado actual y futuro en términos de tiempo, a partir de la EUPS propuesta por Kirby y Morgan (1980) cuya expresión es la Ec. 5.1.2.

$$PS = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (\text{Ec. 5.1.2})$$

Donde, PS es la tasa de erosión que puede ser expresada en diferentes formas, por ejemplo en kg/ha·año, o cualquier otra unidad equivalente; R, es el factor de erosividad (vulnerabilidad) por la precipitación pluvial; K, es el factor de erodabilidad (vulnerabilidad) del suelo; L, es un factor de longitud de pendiente; S, es un factor de gradiente de pendiente; C, es un factor de cultivo; y P, es un factor relacionado con el método de control de la erosión.

5.1.5.2 Evaluación multicriterio

La evaluación multicriterio (EMC) es una técnica que se caracteriza por la capacidad de realizar un conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo teniendo en consideración simultáneamente todas las variables que intervienen para tomar una decisión de entre varias alternativas (De Cos, 2007).

De modo que el presente estudio fue desarrollado empleando una metodología experimental que utiliza múltiples técnicas de la Geomática como una herramienta para la captura, construcción y gestión de una base de datos digital del territorio estatal, con lo cual, se integraron con dichos métodos las Técnicas de EMC, dando un carácter cuantitativo a las evaluaciones realizadas; técnicas empleadas con éxito en estudios similares a diferentes escalas (Mena *et al.*, 2006; Grunwald *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2011) y con aplicaciones de la EUPS en México (Santacruz, 2011; Montes-León *et al.*, 2011).

5.1.5.3 Generación de índices

Las variables de entrada para el cálculo de pérdida de suelo actual y futura de los suelos en el territorio estatal se trabajaron mediante la generación de índices de acuerdo a la

metodologías propuestas por Morgan (1986), Vázquez (2010), Santacruz (2011) y Montes-León *et al* (2011). Ver detalles de cálculo en Anexo 5.1-D Metodología.

Aunque la condición es obtener las señales de Cambio Climático regional, específicamente en lo referente a los extremos meteorológicos; solamente se utilizaron los índices previstos en la EUPS, para lo cual se utilizó la precipitación media anual histórica y del escenario 2010-2030 (Tabla 5.1.2).

Tabla 5.1.2 Índices para estimar pérdida de suelo para crear mapas de erosión actual y escenarios de riesgo 2010-2030	
Índice/Factor (EUPS)	Descripción del factor
Factor erosividad de la lluvia (R):	
PMAh	Precipitación media anual histórica de 45 estaciones climatológicas con al menos 30 años de registros.
PMAe	Precipitación media anual calculada para el escenario climático obtenido del modelo de circulación canadiense CGCM1 del Centro Canadiense de Modelación y de Análisis Climático.
Factor erodabilidad del suelo (K):	
USD	Unidad de suelo dominante identificado con base en la cobertura cartográfica para el territorio estatal en escala 1:250,000, donde se especifican propiedades físico-químicas.
TEX	Textura del suelo para tres fracciones (arena, limo y arcillas) identificada como dominante por Unidad de suelo.
Factor asociado a la topografía (LS):	
LS	Longitud y grado de pendiente que definen el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo para los siguientes rangos de pendiente: 0-1, 3-5 y > 5 %.
Factor asociado a las existencias vegetales (C):	
VEG	La vegetación se asigna como un coeficiente de escurrimiento con el objeto de reflejar el efecto de la vegetación y las prácticas de manejo de los suelo en las tasas de erosión.

Las herramientas para la evaluación de vulnerabilidad de los suelos del estado de Durango, se realizaron por medio de técnicas de la Geomática para integrarse en un Sistema de Información Geográfica (SIG) basado en procesos digitales a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE) e imágenes “*raster*” para las variables de la EUPS (indicada en la sección anterior) y otras aplicaciones pertinentes al presente estudio como son la elaboración de mapas de exposición y sensibilidad al Cambio Climático,

descargados de fuentes especializadas en cartografía digital para el estado de Durango, cuyo contenido se encuentra en la siguiente página Web: <http://www.ujed.mx/sigeed/>.

5.1.5.4 Variables y fuente de datos empleados

En la etapa de selección de estaciones climatológicas, específicamente para los estudios de vulnerabilidad presentados en este capítulo, se utilizó la base de datos del Extractor Rápido de Información Climatológica V.1.0 (ERIC III) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2006) y la página electrónica del servicio meteorológico nacional. El inventario se realizó tomando en cuenta los siguientes criterios: 1) que como mínimo las EM-SMN tuvieran 30 años de antigüedad, cuya información fuese consistente para el período de 1961-1990 y que comprendieran las variables de temperatura y precipitación; y 2) la cercanía de estaciones; es decir, la localización de dos estaciones en un sitio no muy distante una de la otra, al presentarse esta situación se seleccionó la que mostró mejor calidad en la información.

Después de analizar la información contenida en las 189 estaciones climatológicas que se encuentran en el estado, se encontraron municipios que no cumplieron con los criterios antes mencionados, por lo que se procedió a identificar estaciones en los estados colindantes que reunieran los requisitos de información y poder tener una mejor distribución espacial de la información. Considerando lo anterior, para el estado de Durango finalmente se seleccionaron 31 estaciones climatológicas, seis para el estado de Sinaloa, tres pertenecientes a Zacatecas, dos para Chihuahua, dos de Nayarit, y una para el estado de Coahuila, siendo en total 45 estaciones consideradas en el estudio.

Para la realización de los escenarios climáticos se hizo uso de las técnicas estadísticas de regionalización, mediante el modelo Statistical Downscaling Model (SDSM) el cual constituye una de las herramientas que contribuye al proceso de evaluación de los impactos regionales del calentamiento climático facilitando el proceso de reducción de escala espacial de los datos climáticos que provienen de la malla de gran resolución de los Modelos de Circulación General (MCGs). El procedimiento consistió en calcular las relaciones estadísticas basadas en técnicas de regresión lineal múltiple entre el clima a

gran escala (los predictores) y el clima local (el predictando) (Wilby y Dawson, 2007; Li y Qi, 2010; Chu *et al.*, 2010; Kannan y Ghosh, 2010; Ziervogel *et al.*, 2008; Fowler *et al.*, 2007).

Los datos de los predictores fueron obtenidos del modelo de circulación canadiense CGCM1 del Centro Canadiense de Modelación y de Análisis Climático (<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi>).

5.1.6 Análisis de exposición, sensibilidad, adaptación y vulnerabilidad al Cambio Climático

Durango se ubica en la zona central norte de la República Mexicana entre los paralelos 22° 19' y 26° 48' de latitud norte y entre los meridianos 107° 11' y 102° 28' de longitud oeste. Está dentro de la región de Norte América, colinda con los estados de Chihuahua, Nayarit, Jalisco, Coahuila, Sinaloa y Zacatecas. Cuenta con una superficie de 123,181 km², lo que lo convierte en el cuarto estado más grande de México, con un 6.3% del territorio del país (SEDCO, 2009; INEGI, 2009; EMM, 2009), el cual se compone por 39 municipios (Figura 5.1.3).



Clave	Municipio	Km ²
039	Nuevo Ideal	1850.2
038	Vicente Guerrero	369.5
037	Topia	1627.4
036	Tlahualilo	4740.1
035	Tepehuanes	6066.1
034	Tamazula	5800.4
033	Súchil	1467.4
032	Santiago Papasquiaro	6398.8
031	Santa Clara	985.1
030	San Pedro del Gallo	1795.7
029	San Luis del Cordero	604.3
028	San Juan del Río	1398.4
027	San Juan de Guadalupe	2411.0
026	San Dimas	5479.7
025	San Bernardo	2305.6
024	Rodeo	1431.9
023	Pueblo Nuevo	6939.1
022	Poanas	1126.8
021	Peñón Blanco	1682.6
020	Pánuco de Coronado	1025.5
019	Otáez	1708.9
018	El Oro	3527.3
017	Ocampo	3641.6
016	Nombre de Dios	1185.1
015	Nazas	2386.1
014	Mezquital	8367.2
013	Mapimí	7725.4
012	Lerdo	2146.9
011	Indé	2503.1
010	Hidalgo	4686.0
009	Guanaceví	5435.1
008	Guadalupe Victoria	1316.3
007	Gómez Palacio	842.2
006	General Simón Bolívar	2189.3
005	Durango	9278.3
004	Cuencamé	5347.4
003	Coneto de Comonfort	1073.6
002	Canelas	892.3
001	Canatlán	3489.2

Figura 5.1.3 Integración territorial por Municipio y Región Hidrológica (RH) de Durango y superficie en km² (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 1).

La población total de México al 2010 fue de 112 millones 336 mil 538 habitantes, de la cual el 1.45 % se asienta en Durango (1,632,934 habitantes), teniendo con ello una de las densidades más bajas del norte de México con un rango inferior a los 20 hab/km² (INEGI, 2010); sin embargo, en la escala estatal se observa que en el 15 % del territorio del estado se concentra el 66 % de los habitantes, dando como resultado una densidad un poco mayor a 30 hab/km² en solo cuatro municipios: Durango, Gómez Palacio, Lerdo y Vicente Guerrero; el resto de la población, el 34 %, se encuentran distribuidos en el 85 % de la superficie estatal, alcanzando una densidad promedio de 5 hab/km² (Figura 5.1.4).

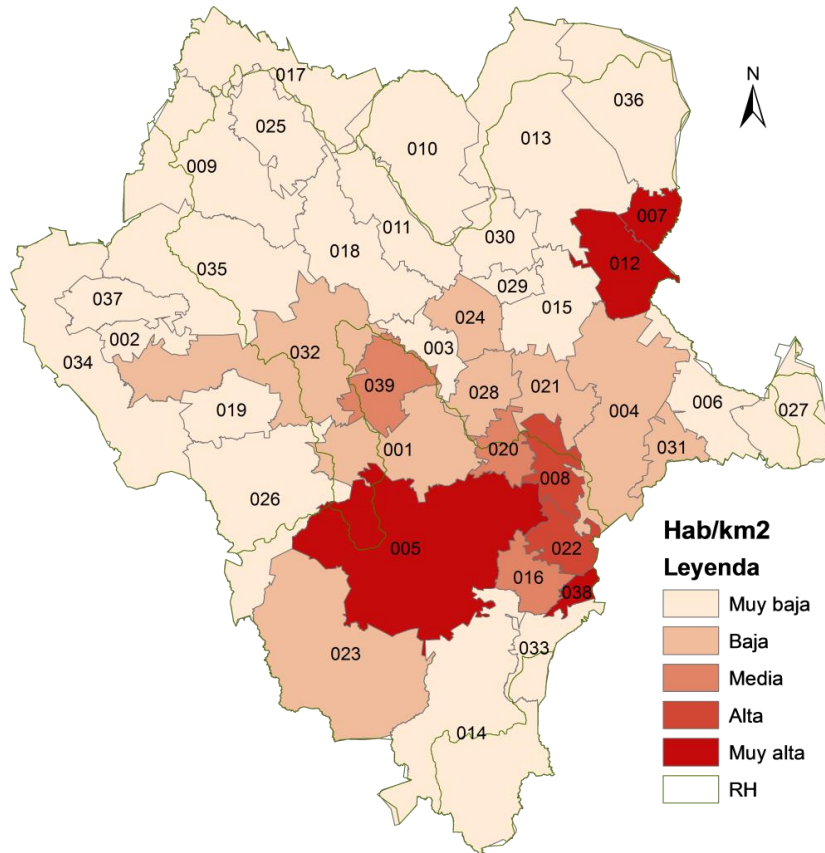


Figura 5.1.4 Densidad de población en el estado de Durango
(Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 2)
Fuente: INEGI, 2010.

5.1.6.1 Exposición al Cambio Climático

Clima y ecosistemas: caracterización general

Durango se reconoce por tener la mayor cantidad de contrastes climáticos que se combinan con topografía irregular con alturas que van desde los 200 metros sobre el nivel del mar (msnm), en los límites con los estados de Sinaloa y Nayarit, hasta encontrar algunos sitios de la sierra con alrededor de 3,200 msnm; ocupa una amplia región latitudinal: al sur del Trópico de Cáncer, está dentro de la Zona Tropical; y al norte, en la Templada y conocida como Zona Subtropical Norte.

De acuerdo a la clasificación climática de Köpen, modificada por García (2003) en Durango se identifican 3 tipos de climas (A, B y C) y al menos 6 subtipos, que en este caso se definen como grupos, siendo los de mayor importancia relativa los pertenecientes a los grupos 3 y 4, donde predominan ambientes áridos y semiáridos, cuya principal característica son las precipitaciones inferiores a 500 mm en promedio anual, y temperaturas mayores a los 20 °C (Tabla 5.1.3).

Tabla 5.1.3 Descripción e importancia de los climas del estado de Durango.			
Grupo/clave por tipo de clima	Descripción	Sup km ²	Importancia relativa
Grupo 1: (A)C (m) y (w1)	Semicálido, templado húmedo, subhúmedo y lluvias de verano del 5 al 10 % anual	10,111.53	8.2%
Grupo 2: Aw0, w1 y w2	Cálido subhúmedo con lluvias de verano del 5 al 10.2 % anual	6,079.7	4.9%
Grupo 3: BS1(h')w, hw, kw	Semiárido, cálido con lluvias de verano del 5 al 10.2 % anual	36,845.9	29.9%
Grupo 4: Bsohw, BWhw	Árido, cálido, árido templado y muy árido semicálido con lluvias de verano del 5 al 10.2 % anual	33,954.7	27.5%
Grupo 5: C(w1), (w2), (wo)	Templado, subhúmedo con lluvias de verano del 5 al 10.2 % anual	20,828.3	16.9%
Grupo 6: Cb'(m)(f), (w1)x', (w2), (w2)'x	Templado semifrío con verano fresco largo, húmedo y subhúmedo con lluvias de verano del al 10.2 % anual	15,481.0	12.6%

Fuente: INEGI-C, 2011.

De acuerdo al INEGI-C (2011) uno de los factores determinantes para la distribución de los climas del estado de Durango se da por la presencia de la Sierra Madre Occidental que detiene los vientos húmedos, dando como resultado que para la región de las Quebradas haya un clima marítimo, semitropical, con temperaturas generalmente altas, más o menos uniforme durante el año, abundante precipitación pluvial y alta humedad atmosférica (Figura 5.1.5).

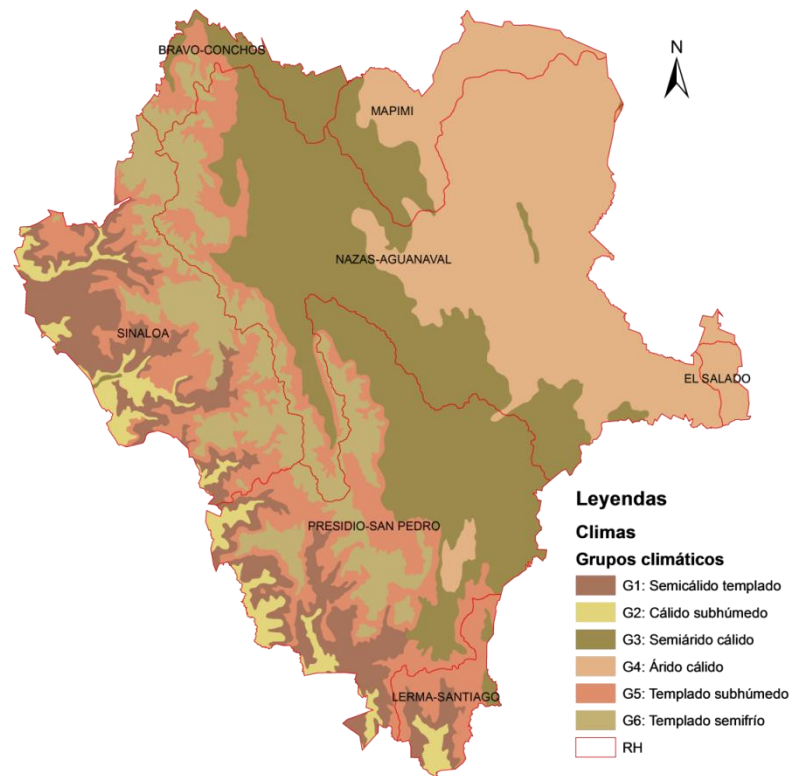


Figura 5.1.5 Mapa de distribución de seis grupos de climas y Regiones Hidrológicas (RH) en el estado de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 3).

A excepción de la región citada la mayor parte de la sierra, por su altitud, tiene un clima semihúmedo, templado o semifrío, que se vuelve templado y semiseco en el lado oriental de la sierra y en buena parte de la franja central del estado, para pasar a ser semiárido y semiseco al oriente de los valles y francamente seco en la parte oriente del estado, donde es muy extremo, de tipo continental, con sólo pequeños manchones de clima templado en las sierras aisladas; además de esto, hay que destacar la existencia de selvas tropicales en la región de las cañadas, bosques templados y fríos en la Sierra Madre Occidental, pastizales en los valles y vegetación xerófila en las zonas desérticas, entre otros tipos de vegetación.

5.1.6.2 Fisiografía: topoformas y vegetación

a. Topoformas.- Según datos del INEGI (INEGI-MF, 2011) Durango se encuentra dentro de cuatro Provincias Fisiográficas y 11 subprovincias, destacando por su extensión las que conforman la Sierra Madre Occidental con cuatro subprovincias: Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses en la parte noroeste, Sierras y Llanuras de Durango que se extiende en una franja central de noroeste a sureste, Gran Meseta y Cañones Duranguenses que cubre toda la franja occidental, después de la subprovincia Mesetas y Cañadas del Sur ubicada en la parte suroeste sobre la colindancia con Sinaloa y Nayarit (Tabla 5.1.4).

Seguida por las Sierras y Llanuras del Norte, que ocupa con la subprovincia del Bolsón de Mapimí la parte norte; La Sierra Madre Oriental con dos subprovincias, Sierra de la Paila en el extremo noreste y Sierras Transversales al oriente del estado; y 4) al sur de éstas últimas, en el lado oriental de la entidad, se ubican las subprovincias Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande, así como Sierras y Llanuras del Norte, pertenecientes a la provincia Mesa del Centro (Figura 5.1.6).

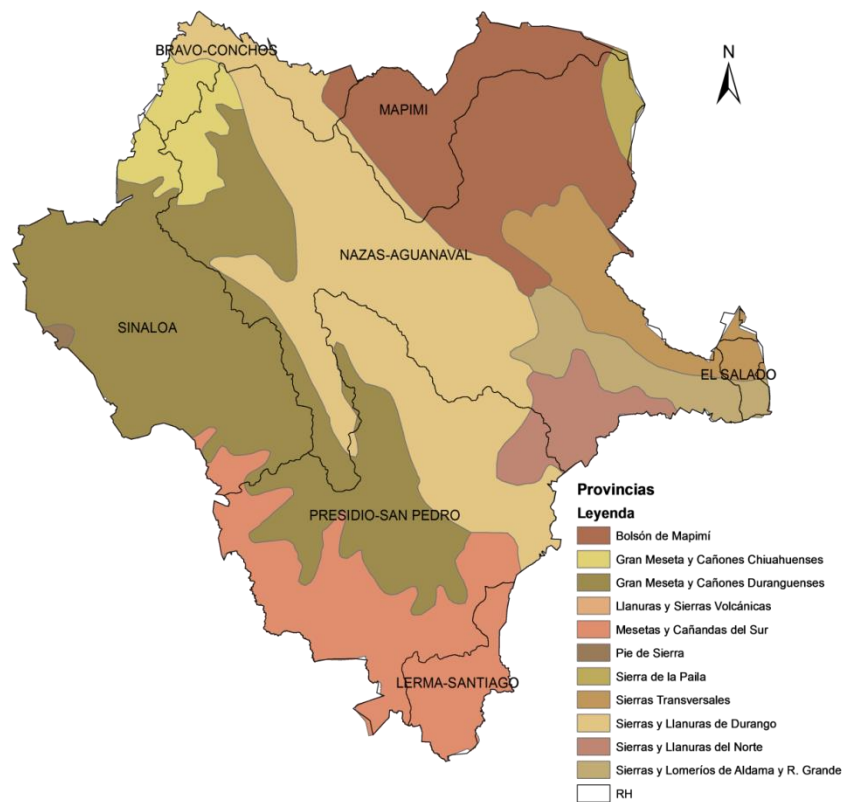
La Sierra Madre Occidental para México, y específicamente para el estado de Durango es de particular importancia debido a su riqueza natural, pues posee una de las mayores riquezas de diversidad biológica en Norte América y contiene cerca de dos tercios de la *trocería*¹ de México.

¹La trocería es un término que se emplea para referirse a una parte del procesos de producción forestal; es la madera que ha sido parcialmente procesada (cortada), después de que ésta ha sido transportada (como madera en rollo) desde el bosque, para su clasificación en los patios de los Aserraderos (CCMSS-RA-RM, 2010).

Tabla 5.1.4 Superficie e importancia relativa de las Provincias Fisiográficas identificadas en el territorio duranguense.

Nombre de la provincia	Sup. km ²	Importancia relativa
Gran meseta y cañones duranguenses	35,489.3	28.8%
Sierras y llanuras de Durango	31,637.2	25.7%
Bolsón de Mapimí	18,927.4	15.4%
Mesetas y cañadas del sur	15,980.7	13.0%
Sierras transversales	6,187.1	5.0%
Sierras y lomeríos de Aldama y Río Grande	4,766.9	3.9%
Gran meseta y cañones chihuahuenses	4,494.2	3.6%
Sierras y llanuras del norte	4,406.8	3.6%
Sierra de la Paila	1,158.7	0.9%
Pie de la sierra	198.3	0.2%
Llanuras y sierras volcánicas	3.8	0.003%

Fuente: Resultado de procesos digitales en SIG del mapa Fisiográfico de México.



5.1.6 Rasgos fisiográficos y límites de las Regiones Hidrológicas que conforman el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 4).

Aproximadamente 23 especies diferentes de pino y más de 100 de encino residen dentro de esta cadena de montañas. Se menciona también que muchas especies evolucionaron como resultado de la altitud, la temperatura, la precipitación y la pendiente. Extensas áreas de bosques de pino-encino se distribuyen a lo largo de las laderas orientales de la Sierra (Navar-Chaidez y González-Elizondo, 2009).

Esta Sierra ocupa parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Nayarit y Zacatecas. Se inicia en el área fronteriza con Arizona, EE.UU. y termina en el río Santiago en Nayarit, en donde se conecta con el Eje Volcánico Transversal. Constituye un importante sistema montañoso, de origen ígneo, volcánico en su mayor parte; la sierra se levanta hasta los 3,000 msnm con una región escarpada orientada al occidente; hacia el oriente la Sierra desciende a una región con grandes mesetas. Las condiciones geológicas y fisiográficas tan peculiares de esta Sierra han propiciado la formación de cañones profundos sobre su vertiente occidental, entre los que destaca el cañón del Cobre, labrado por el río Urique y sus afluentes (INE, 2011).

b. Vegetación.- De acuerdo a los cálculos realizados por medio de procesos digitales en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el 2010, la superficie de existencias vegetales fue de 10,821.2 kilohectáreas (kha) que representa el 87 % del total en el estado (12,345.16 kha \pm 0.28%); el 13 % restante corresponde a superficies reportadas para otros usos tales como: uso agrícola, existencia de cuerpos de agua, zonas urbanas y otros conceptos (Tabla 5.1.5). Las especies de coníferas (Grupo 1) y latifoliadas (Grupo 2), ubicadas en la región de clima templado, cubren una superficie de 5,165.9 kha, lo cual representa el 48% de la superficie para los 6 grupos citados en la Tabla 5.1.5, y el 41.8 % de la superficie total del estado; mientras que el 58.2% restante que comprende los grupo del 3, 4, 5 y 6, suman una superficie de 5,655.3 kha y se ubican en la región de clima del Trópico seco (Figura 5.1.7).

Tabla 5.1.5 Superficies de existencia de vegetación en 2010 e importancia relativa para los seis grupos en estudio

Grupo	Composición	Sup kha	Importancia relativa
Grupo 1	Bosque de coníferas, Bosque cultivado	3,633.2	29.4%
Grupo 2	Bosque de encino, Bosque mesófilo	1,532.7	12.4%
Grupo 3	Selva subcaducifolia	26.3	0.2%
Grupo 4	Selva caducifolia	581.3	4.7%
Grupo 5	Matorral Xerófilo a, Matorral Xerófilo s	2,698.8	21.9%
Grupo 6	Pastizal	2,348.9	19.0%
Otros	IAPF, ZU, H ₂ O	1,523.9	12.3%

Fuente: Resultados de procesos digitales en SIG a partir de la cartografía de Uso del Suelo y vegetación, serie IV en formato vectorial (shp) para el estado de Durango. a, arbotufrutecente; s, subinermes; IAPF = Intensivo agrícola, pecuario o forestal; ZU = Zona urbana; H₂O = Cuerpos de agua.

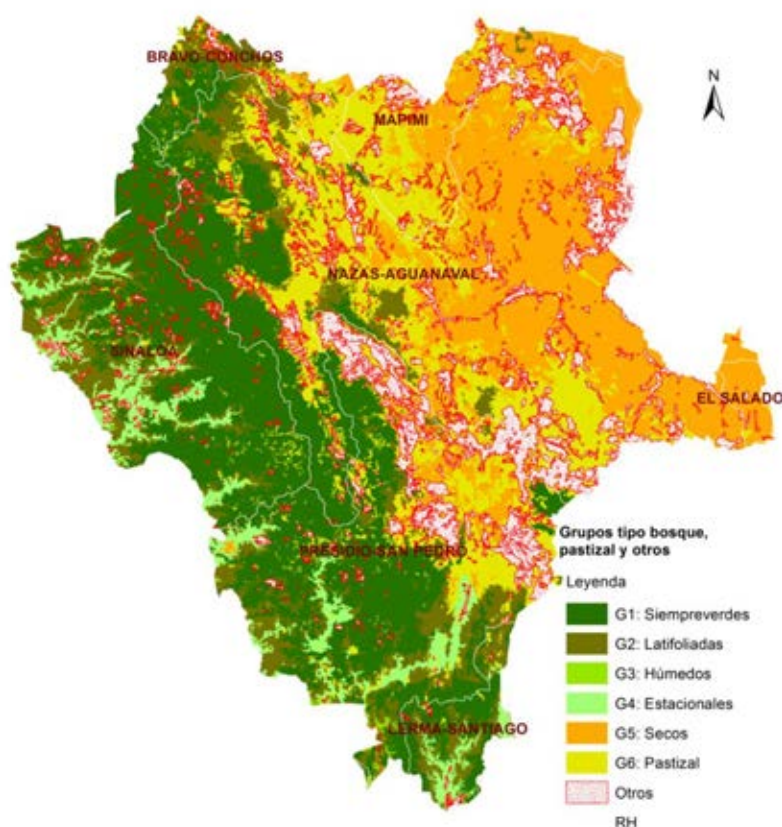


Figura 5.1.7 Distribución espacial de la vegetación por Región Hidrológica (RH) en territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 5).

5.1.6.3 Lluvia y escurrimientos superficiales

a. Lluvia.- Como consecuencia de los contrastes ambientales descritos anteriormente (topoformas y vegetación) así como por la posición latitudinal mencionada por varios autores (Cotler, 2007; Garrido y Cotler, 2010) la lluvia promedio (histórica) del estado de Durango se encuentra en un rango que va desde poco menos de 264 hasta más de 1,500 mm en promedio anual (Figura 5.1.8).

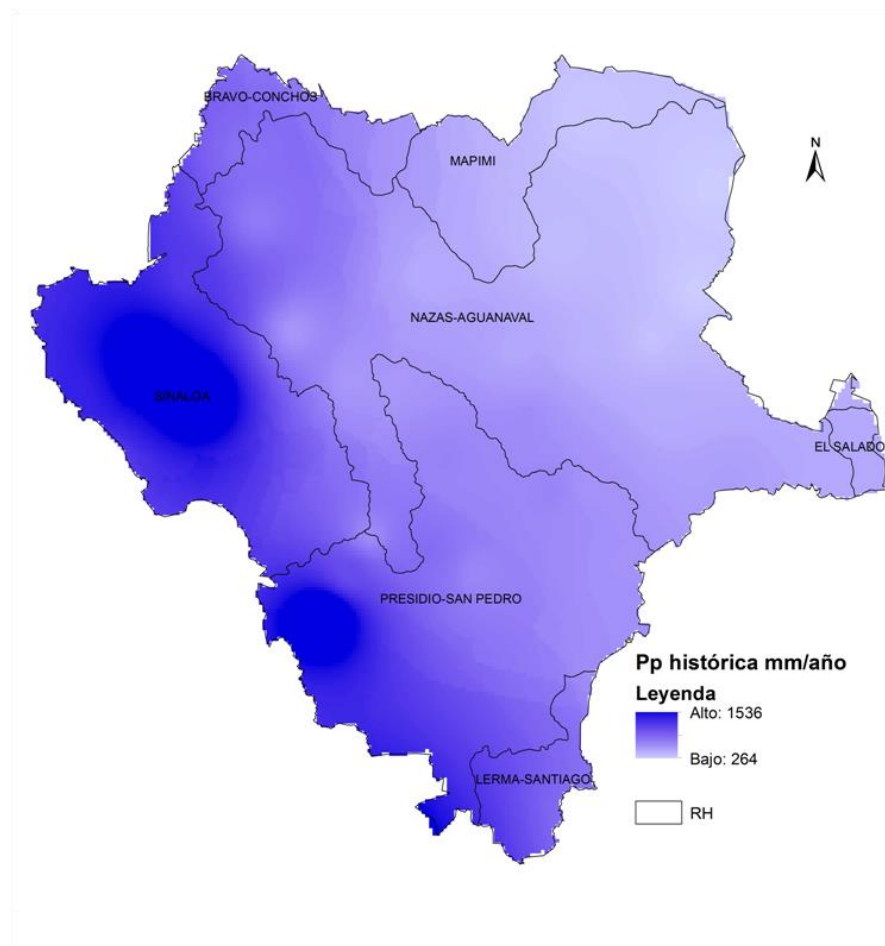


Figura 5.1.8 Mapa de distribución de la lluvia promedio (histórica) delimitada por las Regiones Hidrológicas (RH) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 6).

Como puede observarse en la Figura 5.1.8, mientras que el valor más alto de la precipitación pluvial se presenta hacia el territorio que cubre la Sierra Madre Occidental del estado, por el contrario hacia la zona oriental se presenta el más bajo de la parte central

donde se localizan los Valles hacia la parte oriental donde comparte ambientes áridos con los estados de Zacatecas y Coahuila.

b. Escurrimientos superficiales.- Por definición los escurrimientos superficiales (ES) son una porción de la precipitación pluvial que puede dar lugar a corrientes permanentes o intermitentes, formación o aportación a cuerpos de agua superficiales o depósitos subterráneos (SARH-SPP-CP, 1991).

Para la conservación de suelos y el agua, los estudios que comprenden al fenómeno de la lluvia y los ES, técnicamente se conocen como tormenta de diseño, cuya forma clásica consiste en buscar un patrón de precipitación para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales o escurrimientos superficiales resultantes. Los cuales, se calculan utilizando procedimientos de lluvia-esorrentía (P-ES) y tránsito de caudales. (Ven Te Chow, *et al.* 1994; Becerra, 1999).

De acuerdo a lo anterior, se estima un gradiente de los ES, los cuales, evidentemente están directamente relacionados con la distribución de la lluvia, de tal manera que las RH's Sinaloa, parte de la Presidio-San Pedro y casi la totalidad de la Lerma-Santiago, tanto por la topografía, como por la posición latitudinal, presentan los rangos de escurrimientos superficiales más altos, encontrándose en el orden de los 500 a los 1,000 mm, en tanto que la RH Nazas-Aguanaval derivado de su tamaño se extiende desde el noroeste 2 grados de latitud W (26 a 23 °) hacia la parte central y hasta la planicie del semidesierto del territorio estatal en los límites con el estado de Coahuila al noreste y Zacatecas en sureste, cuyos rangos son desde < 10 hasta 1000 mm (Figura 5.1.9).

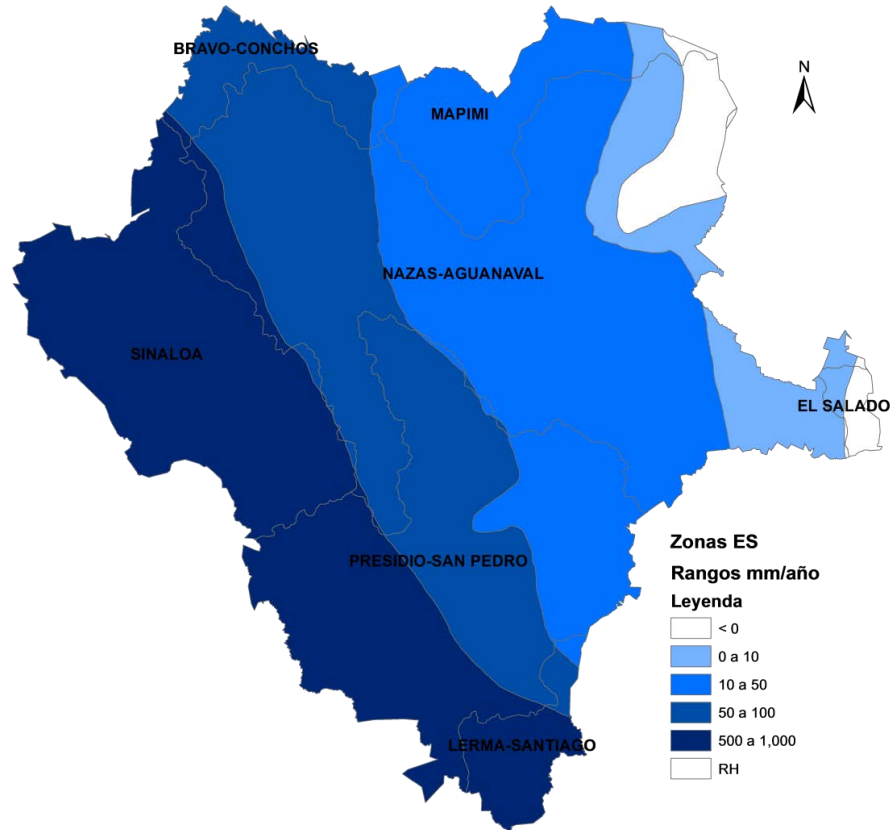


Figura 5.1.9 Zonificación del Ecurrimiento Superficial (ES) delimitada por Región Hidrológica (RH) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 7).

5.1.6.4 Sensibilidad al Cambio Climático

Como ya se ha mencionado, los suelos del estado de Durango presentan una sensibilidad por causas naturales y condiciones de uso antrópico en poco más de 1.5 millones de hectáreas (Tabla 5.1.4); sensibilidad que técnicamente se expresa en diferentes grados de deterioro o degradación del suelo, fenómeno que inicialmente puede darse por el desgaste o erosión por la acción de los factores ambientales.

La erosión del suelo ha sido definida como el desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo principalmente por la acción del agua y el viento; de ahí las denominaciones de erosión hídrica y eólica; se distinguen dos tipos, la natural y la inducida por el hombre; la

primera también conocida como erosión geológica, cuya principal característica es que ocurren a lo largo de cientos de años, y la segunda en periodos de tiempo mucho más cortos (SARH-SPP-CP, 1991).

Al respecto Becerra (1999) menciona que la erosión es un proceso complejo en el cual intervienen diversos factores que se agrupan en: 1) Climáticos, expresados sobre todo por la agresividad de la lluvia para erosionar; 2) Edáficos, los cuales en conjunto se manifiestan por la susceptibilidad del suelo para ser erosionado; 3) Topográficos, constituidos por la longitud, forma y pendiente del terreno; y 4) Humanos, los cuales se manifiestan fundamentalmente por sus efectos en la cubierta vegetal, alterando a su vez el tipo de vegetación y su desarrollo de la misma a través del año, el porcentaje de cobertura, la aspereza del terreno, y las condiciones superficiales del suelo.

Áreas de influencia a la erosión: hídrica y eólica

a) **Sensibilidad a la erosión hídrica.**- Las áreas de influencia de la erosión hídrica están determinadas por la magnitud de la lluvia y su distribución espacial. Se estima que las zonas sensibles a la erosión hídrica laminar (SEHL), presentan un gradiente relativo de muy alta en la zona serrana a baja y hasta nula en la zona semiárida y árida del territorio estatal (Figura 5.1.10).

b) **Sensibilidad a la erosión eólica.**- Las áreas de influencia de la erosión eólica son inversamente proporcionales a la magnitud de la lluvia y su distribución espacial. Se estima que las zonas con Sensibilidad a la Erosión Eólica Laminar (SEEL), presentan un gradiente relativo de muy alta en la zona semiárida y árida serrana a baja y hasta nula en la serranía del territorio estatal (Figura 5.1.11).

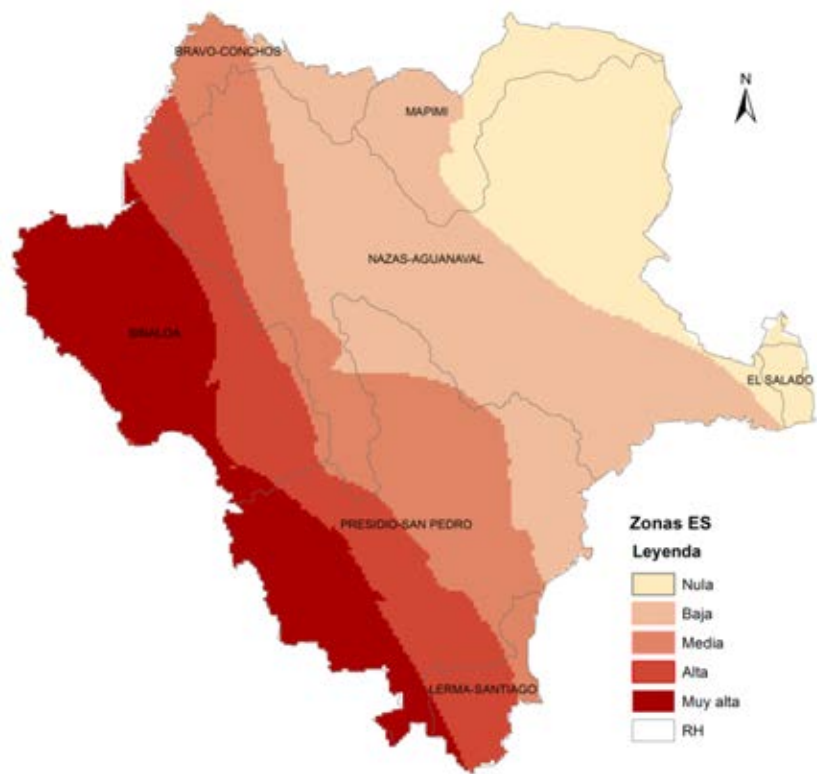


Figura 5.1.10 Sensibilidad relativa a la Erosión Hídrica Laminar (SEHL) por Región Hidrológica (RH) del territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 8).

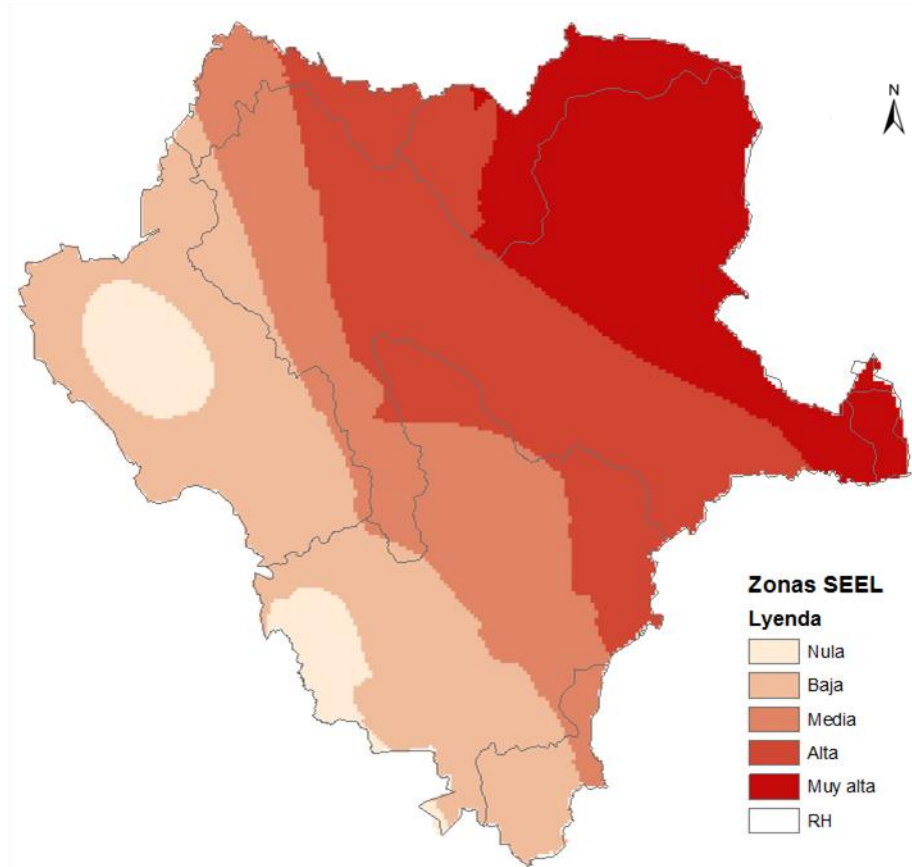


Figura 5.1.11 Sensibilidad relativa a la Erosión Eólica Laminar (SEEL) delimitada para las Regiones Hidrológicas (RH) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 9).

Erosividad de la lluvia: factor R

La erosividad de la lluvia, representado como el factor R en la EUPS, indica para un área específica la energía potencial de la lluvia y su escurrimiento asociado; es el factor de tipo climático que indica el potencial erosivo de las precipitaciones. Normalmente este factor está determinado con los datos de intensidad máxima de lluvia en treinta minutos consecutivos (I_{30}) y la energía cinética asociada (E_c). El producto de ambas es la erosividad de la lluvia (Montes León *et al.*, 2011).

Para calcular el valor de R se utilizó la precipitación media anual de las series históricas (PMA_H) y los resultados del proceso de reducción de escala con SDMS para esta misma variable (PMA_{Ef}).

Para ello, se emplearon Estaciones Meteorológicas (EM) con al menos 30 años de registros; 29 estaciones climatológicas primordialmente se encuentran en del estado de Durango, y de modo complementario de Sinaloa, Nayarit, Zacatecas, Coahuila y Chihuahua.

De manera que R fue deducida para dos zonas: la del Oeste (Nazas-Aguanaval, Mapimí, Bravo-Conchos y El Salado) y la del Este (Sinaloa, Presidio-San Pedro, Lerma-Santiago), mediante la aplicación de las ecuaciones propuestas por Becerra (1999) y recientemente usadas por Montes León *et al* (2011) (Tabla 5.1.6).

Tabla 5.1.6 Ecuaciones empleadas para determinar el valor de R de la EUPS			
Zonas	Regiones hidrológicas	Ecuación de la Regionalización nacional para R	R ²
Oeste	$3.6752 \cdot PMA - 0.001720 \cdot PMA^2$	3	94
Este	$2.8959 \cdot PMA + 0.002983 \cdot PMA^2$	4	92

Fuente: Montes León *et al.*, 2011; PMA. Precipitación media anual

De acuerdo a lo descrito en las secciones anteriores, los resultados del análisis para la lluvia histórica (1970-2000), la erosividad por lluvia indica que la zona Oeste presenta los impactos más altos por unidad de superficie encontrándose en los rangos desde 1336.8 hasta 1963.2 MJ mm/ ha h² (Figura 5.1.12).

² MJ·mm/ha·h, es la energía de impacto de la lluvia al caer sobre la superficie terrestre, que se lee como: mega joule por milímetro de lluvia por hectárea en una hora; donde M, es el prefijo de mega (1x10⁶); J, (joule) es el símbolo de la unidad derivada de energía o de trabajo, que en las unidades del SI (sistema Internacional) J=(kg·m²)/s².

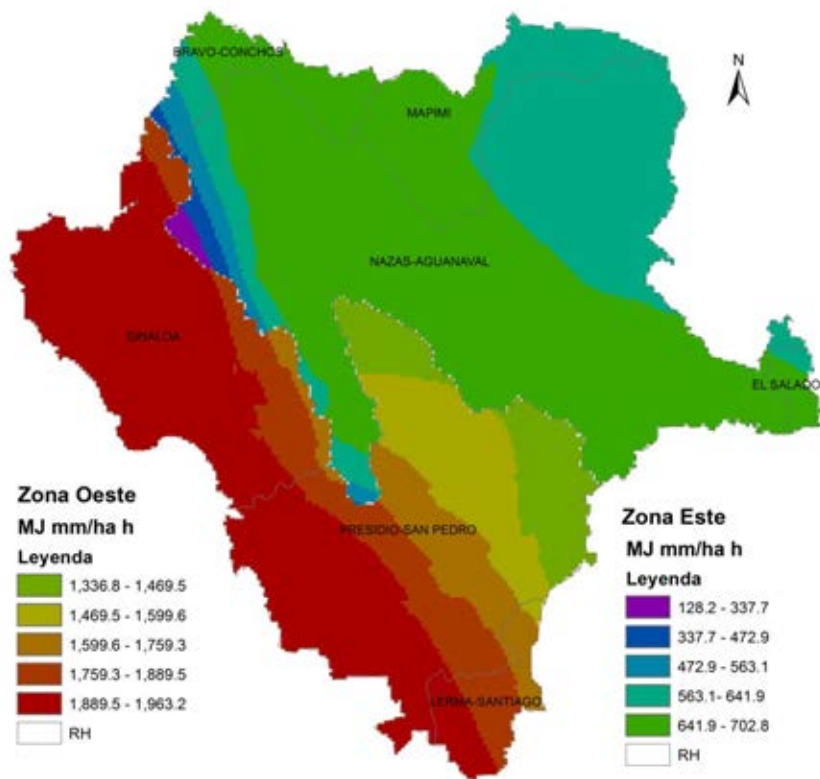


Figura 5.1.12 Factor R, sensibilidad a la erosión por efecto de la lluvia y el escurrimiento asociado (MJ mm/ha h) para dos zonas (Este y Oeste) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 10).

Unidades de suelo susceptibles a la erosión: Factor K

El factor K indica el grado de sensibilidad o resistencia de un horizonte específico del suelo a la erosión y se concibe como la facilidad con la cual es desprendido por: 1) el salpicado de las gotas durante un evento de lluvia, 2) el flujo superficial, o 3) por la acción de ambos fenómenos (Montes León *et al.*, 2011).

Para determinar el valor de K, se empleó la información edafológica más reciente del INEGI (2007): Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico, escala 1:250,000, Serie II (Continuo Estatal), que contiene información actualizada durante el periodo 2002-2006, donde se emplea la clasificación de suelos del WRB (World Reference Base for Soils Resources), reporte número 84 (FAO, 2006), publicado por la Sociedad Internacional de

las Ciencias del Suelo (SICS) del Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos (ISRIC, por sus siglas en Inglés) y la FAO, en Roma , Italia, en el año 1999, adaptado por el INEGI, para las condiciones ambientales de México.

Las características que se obtuvieron de esta información son tipo de suelo y textura. De acuerdo a la clasificación del tipo de suelo y textura superficial (gruesa, media o fina), se le asigna el factor K, el cual está representado en el Tabla 5.1.7, y su distribución espacial en la Figura 5.1.13.

Tabla 5.1.7 Factor K, de acuerdo con el tipo de suelos de la clasificación desarrollada por la WRB (Ver descripción detallada de las unidades de suelo en el ANEXO 5.1-B Suelos)

Nombre	Clave	Textura			Nombre	Clave	Textura		
		Gruesa	Media	Fina			Gruesa	Media	Fina
Acrisol	AC	0.26	0.04	0.013	Leptosol	LP	0.013	0.02	0.007
Arenosol	AR	0.013	0.02	0.007	Luvisol	LV	0.026	0.04	0.013
Chernozem	CH	0.013	0.02	0.007	Phaeozem	PH	0.013	0.02	0.007
Calcisol	CL	0.053	0.079	0.026	Regosol	RG	0.026	0.04	0.013
Cambisol	CM	0.026	0.04	0.013	Solonchak	SC	0.026	0.04	0.013
Durisol	DU	0.053	0.079	0.026	Solonetz	SN	0.053	0.079	0.026
Fluvisol	FL	0.026	0.04	0.013	Umbrisol	UM	0.026	0.04	0.013
Gipsol	GY	0.053	0.079	0.026	Vertisol	VR	0.053	0.079	0.026
Castañozem	KS	0.026	0.04	0.013	Otros	H20	1.0	1.0	1.0

Fuente: Montes León *et al.*, 2011.

Sensibilidad de los suelos a la erosión por la topografía: Factor LS

El efecto de la topografía sobre la erosión del suelo está representado por los factores: longitud (L) y el grado de pendiente (S). La longitud se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente, al grado en que ocurre una sedimentación o bien hasta el punto donde el escurrimiento, una vez concentrado, encuentra un canal de salida bien definido.

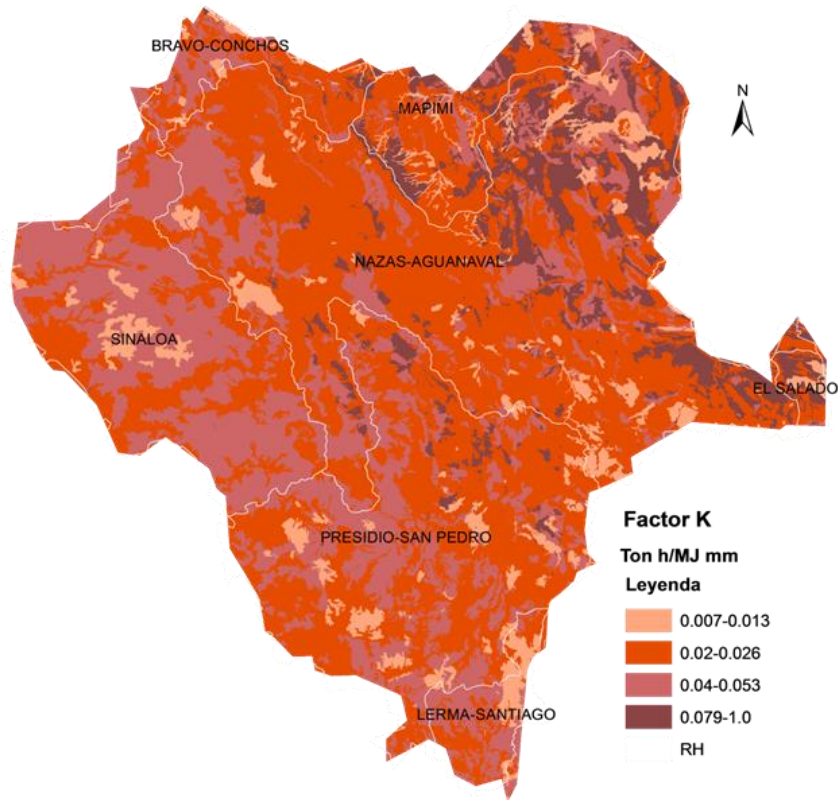


Figura 5.1.13 Factor K, zonificación de la sensibilidad a la erosión de las principales unidades de suelo conforme a la *World Reference Base for Soil Resources* (SEpus-WRB) que integran el territorio de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 11).

Para su determinación se empleó la metodología propuesta por Renard (1997), empleada para varios estudios de caso para México (Montes-León *et al.*, 2011; Santacruz, 2011), cuya expresión es la siguiente (Ec 5.1.3):

$$LS = \left(\frac{x}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045 \cdot S + 0.0065 \cdot S^2) \quad (\text{Ec. 5.1.3})$$

Donde, x es la longitud del tramo de pendiente S , en metros; S , es la pendiente en porcentaje, en cuyo caso se emplearon tres rangos: 0-1, 3-5 y > 5 %; y m , es el exponente que depende del desnivel de la zona de estudio.

Para la determinación de este factor se utilizaron los 12 modelos digitales de elevación (MDE) en escala 1:250,000 que comprenden la cobertura del territorio estatal, con los cuales se construyó una malla con resolución de aproximadamente 1122 m. De modo que primero se determinó el factor L y después el S, para finalmente obtener el producto de ambos, siguiendo la metodología aplicada por Montes-León et al (2011) y Santacruz (2011), cuyos resultado se muestran en la Figura 5.1.14.

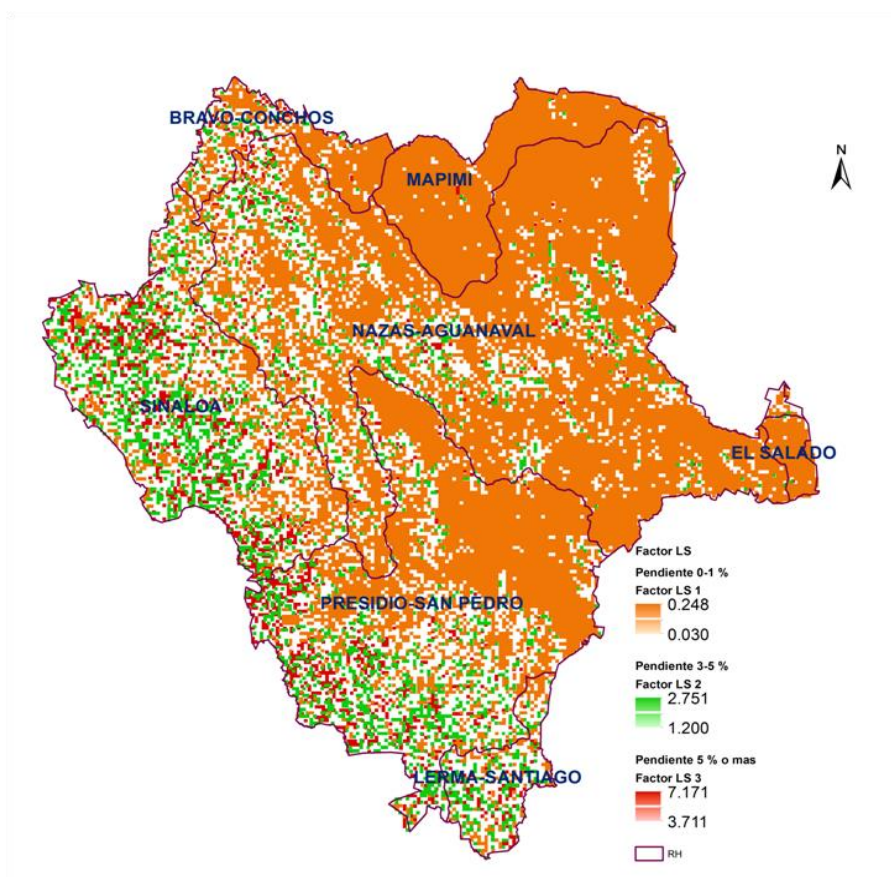


Figura 5.1.14 Factor LS, distribución de la sensibilidad a la erosión por efecto de la longitud (L) y grado de pendiente (S) (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 12).

De acuerdo a lo anterior (Figura 5.1.14), es evidente que las áreas más sensibles a la erosión de acuerdo al cálculo del Factor LS corresponden a los suelos ubicados al Oeste del estado de Durango, en rangos de pendiente de 3 a 5 % y mayores al 5 %; seguidos por los que se localizan desde la parte central del territorio estatal hasta en rangos de pendiente de 0 al 1 %.

Sensibilidad de los suelos por uso y cambios de uso del suelo: Factor C

El factor C se asigna con el objeto de reflejar el efecto de la vegetación y las prácticas de manejo de los suelo en las tasas de erosión. Es un factor usado con más frecuencia para realizar cálculos relacionados con el comportamiento de los escurrimientos en sistemas de corrientes superficiales, como los descritos en el Manual de Conservación de Suelos y Agua (SARH-SPP-CP, 1991).

Los criterios empleados para la asignación del valor de C, deben relacionarse con las diferentes prácticas de manejo según las características asociadas en un plan de conservación; de manera que los cálculos determinarán la tasa promedio anual de erosión, y cómo la pérdida potencial de suelo se distribuirá en el tiempo durante las actividades de construcción, rotación de cultivos u otros esquemas de manejo, así como los cambios en el uso del suelo (Montes-León *et al.*, 2011; Santacruz, 2011).

En este caso, se recurrió a los datos reportados en el Informe de Gases de Efecto Invernadero del Sector Uso y Cambio de uso del Suelo y Silvicultura del estado de Durango, USCUSyS (López-Santos *et al.*, 2011), y los factores corresponden a la información más reciente de uso del suelo y vegetación publicados por el INEGI (2011) en formato vectorial (shp) en escala 1:250,000 de la serie IV, de manera que los factores de C corresponden al promedio de los reportados por Montes-León *et al* (2011) para la serie IV con base en la homologación que se muestra en el Tabla 5.1.8 y su distribución espacial en la Figura 5.1.15.

Tabla 5.1.8 Homologación de los grupos de vegetación para el cálculo de cambios de biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa y asignación del factor C.

IPCC, 1996 ^a		INEGI, 2009 (Nacional) ^b	INEGI, 2006 (Nacional) ^c	INEGI-DURANGO (USV-Serie III) ^d	INEGI-DURANGO (USV-Serie IV) ^e	Factor C
BOSQUES TEMPLADOS	Grupo 1. Siempreverdes	Bosque de Coníferas	Bosque de Coníferas	Bosque de Pino	Bosque de Coníferas	0.01
				Bosque de Pino-Encino	Bosque Cultivado	0.01
				Bosque de Táscate		0.01
				Bosque Bajo Abierto		ND
				Bosque de Oyamel		0.01
	Grupo 2. Latifoliadas	Bosque de Encino	Bosque Latifoliadas	Encino	Bosque de Encino	0.1
		Bosque Mesófilo de Montaña		Bosque de Encino-Pino	Bosque Mesófilo	0.01
	BOSQUES TROPICALES	Grupo 3. Húmedos	Selva Subcaducifolia	Selva Alta y Media	Selva Media Subcaducifolia	Selva Subcaducifolia
Matorral				Matorral subtropical		0.12
Grupo 4. Estacionales		Selva Espinosa	Selva Baja	Selva Baja Espinosa	Selva Caducifolia	0.50
		Selva Caducifolia	Selva Baja	Selva Baja Caducifolia		0.50
Grupo 5. Secos		Matorral Xerófilo	Matorral	Mezquital	Matorral Xerófilo A	0.65
				Matorral Submontano		0.35
				Matorral Crasicaule		0.65
				Matorral Desértico Microfilo		0.25
				Matorral Desértico Rosetofilo		0.25
				Matorral Sarcocaulo		0.25
				Chaparral		0.65
				Pastizal		Matorral Xerófilo S
Grupo 6. Pastizal		Pastizal	Pastizal	Pastizal Halófilo	Pastizal	0.25
				Pastizal Natural		0.07
	Pastizal-Huizachal			ND		
	Pecuario	Vegetación inducida		Pastizal Cultivado-Agricultura de Temporal	Vegetación Inducida 2	0.75
				Pastizal Inducido		0.02
				Pastizal Inducido, Agricultura de Temporal		0.75
				Pastizal Inducido, Vegetación Secundaria de Selva		0.75

Fuentes de referencia para la homologación:

^aIPCC-D, 1996.

^bINEGI, 2006.

^cINEGI, 2009.

^dINEGI-DURANGO, 2003. Vectoriales shp de Uso de Suelo y Vegetación del estado de Durango de la Serie III;

^eINEGI-DURANGO, 2003. Vectoriales shp de Uso de Suelo y Vegetación del estado de Durango de la Serie IV.

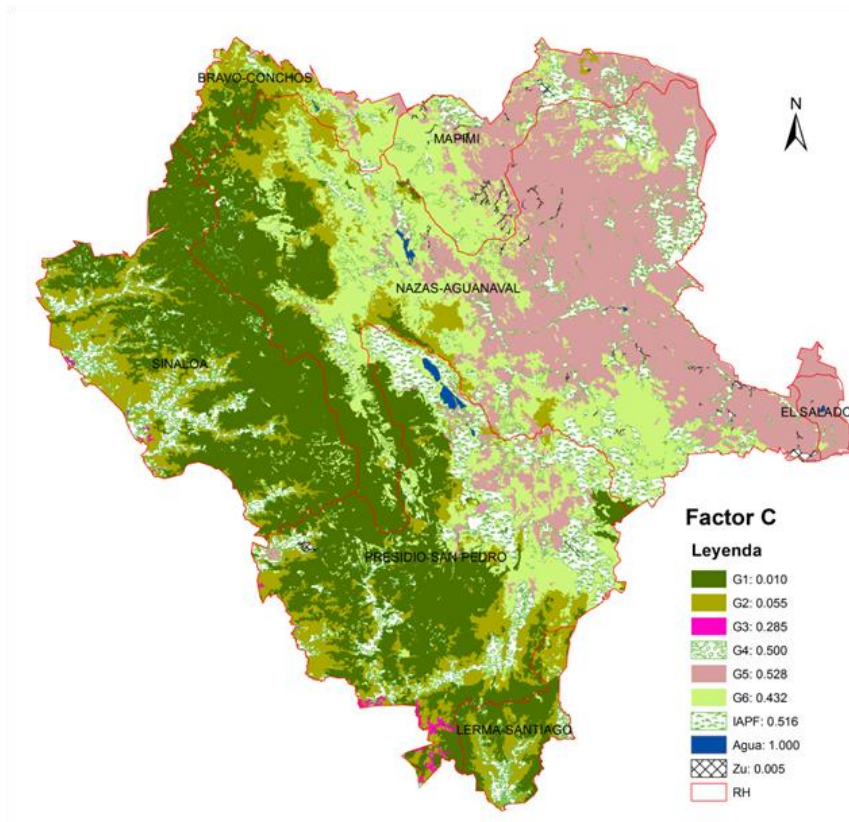


Figura 5.1.15 Factor C, zonificación de la sensibilidad de los suelos de acuerdo a los tipos de vegetación presente y uso del suelo (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 13).

5.1.6.5 Capacidad de adaptación al Cambio Climático

En teoría la vulnerabilidad del suelo a la acción de los factores ambientales más la participación del hombre ponen en juego su propia resiliencia o capacidad de tolerar los disturbios sin colapsarse, y como consecuencia de dicha acción se promoverían cambios a un estado cualitativamente diferente; considerando que dicha capacidad (resiliencia) es controlada por diferentes procesos, pero la memoria ecológica es un componente clave de la resiliencia, porque representa la capacidad del sistema para absorber perturbaciones, reorganizar y mantener la capacidad de adaptación (Bengtsson *et al.*, 2003; Cox, 2008; Thompson *et al.*, 2009).

Bajo este razonamiento se entiende que el impacto del Cambio Climático (I) definido por el grado de exposición (E) y sensibilidad (S) de los suelos del estado de Durango, en este caso es atenuado por su propia capacidad de adaptación (CA) en un contexto ecosistémico del que el suelo forma parte; propiedad que puede ser de origen natural o influida por la acción antrópica mediante prácticas agronómicas de manejo adecuadas del suelo; de modo que ambas propiedades para los suelos del estado de Durango se discuten brevemente como complemento a la información expuesta en las secciones anteriores.

Capacidad de adaptación natural del suelo

El enfoque de este análisis para evaluar la capacidad de adaptación natural del suelo tiene como base la consideración de que el suelo (S) es un cuerpo natural resultado de procesos de transformación del material madre o roca (*Lr*) por la acción individual o combinada de los factores ambientales como son clima (*Cl*), biota (*B*) y relieve (*T*), los cuales dependen del tiempo (*t*) ocurrido en el proceso de transformación de *Lr*, como lo planteo originalmente Dokuchaiev a finales del siglo XIX en Rusia, y fuera retomado por la academia en las Universidades de Estados Unidos de América hasta que Jenny en 1941, en su libro "*Factor of Soil Formation*", lo expresó en una notación matemática como: $S = f(Lr, Cl, B, T, t)$ (Simonson, 1997).

Es indiscutible la validez que mantiene el concepto citado anteriormente tratándose de procesos naturales que otros autores ya han considerado (Simonson, 1997; Bockheim and Gennadiyev, 1999; Kumar *et al.*, 2011).

Al respecto Bockheim y Gennadiyev (1999) dicen que es la base de la taxonomía moderna de suelos y para la FAO-UNESCO con lo cual se generó el mapa mundial de suelos publicado en 1974, y más recientemente para la WRB, mediante la cual el INEGI ha creado la cartografía de México para la Serie II; y agregan que los diversos modelos propuestos reconocen procesos formadores de suelos en tres niveles: 1) El nivel más alto considera los procesos generales que delimitan los suelos de otros subsistemas de la biosfera; 2) El segundo nivel es dependiente de las entradas, salidas, traslados o

desplazamientos y las transformaciones de la energía y la materia; y 3) El tercer nivel se hace hincapié en micro-procesos o procesos específicos, tales como la fijación de nitrógeno, la oxidación y la reducción de Fe y Mn, sustituciones iónicas, y otros productos químicos, procesos físicos y biológicos y las reacciones fisicoquímicas (Figura 5.1.16).

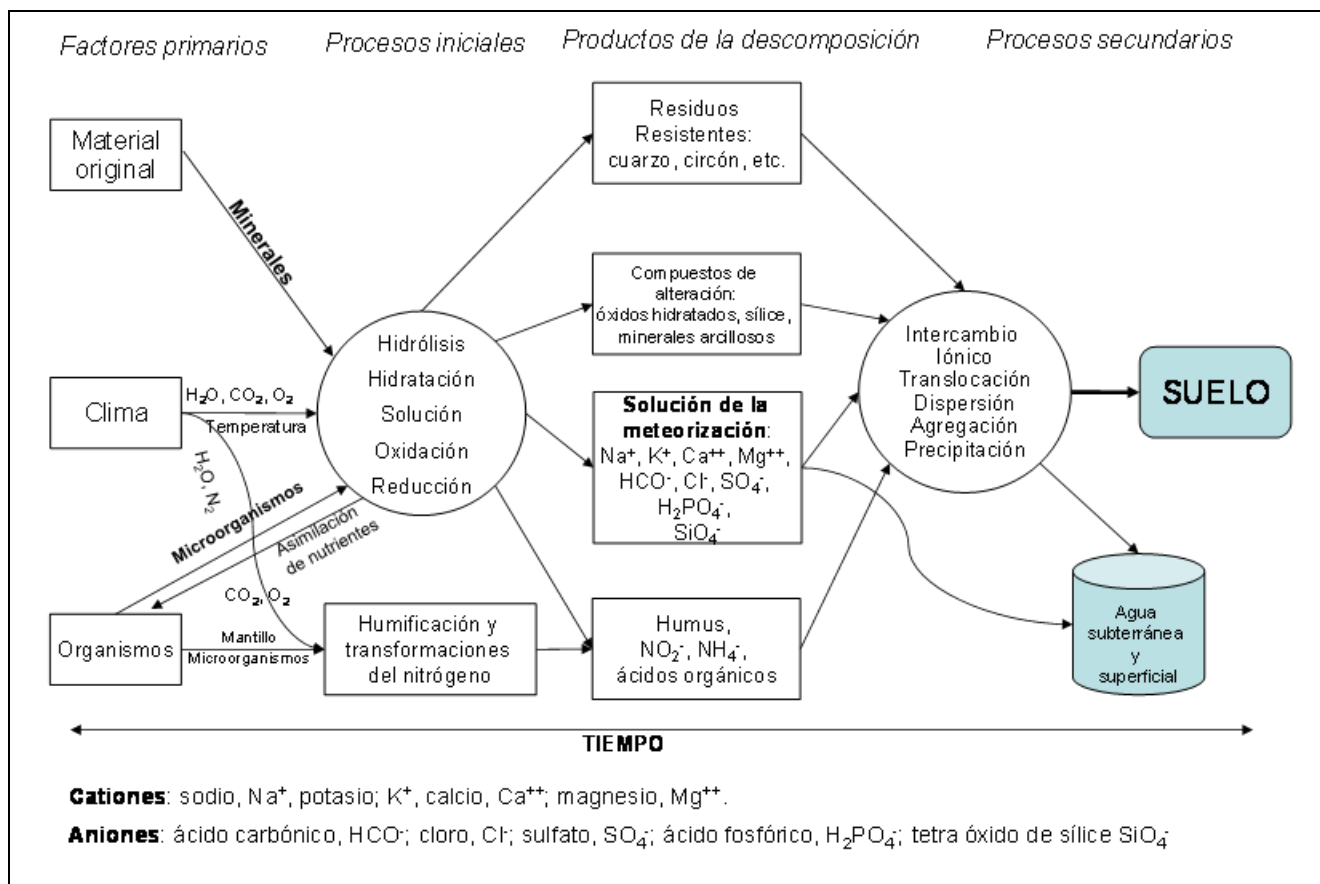


Figura 5.1.16 Procesos de formación del suelo.

Fuente: Adaptado de Yaalon (1960).

Pero, como ya se ha mencionado con anterioridad el suelo permanentemente en formación tiene un desarrollo sujeto a fuerzas de degradación de origen antrópico como la tala inmoderada en zonas de bosque, y en áreas de uso agrícola y ganadero es frecuente el uso inapropiado de fertilizantes, operaciones de labranza inadecuadas, monocultivo, excesivo uso de agroquímicos, cambios en pH, salinidad, anegamiento, agotamiento de la

materia orgánica del suelo, sobrepastoreo, erosión sobre y bajo la superficie del suelo por la acción de la lluvia y el flujo del agua (Fox and Wilson, 2010; Kumar *et al.*, 2011).

La erosividad o erodabilidad climática definida como (Mikhailova *et al.*, 1997) la agresividad del clima como la lluvia, viento, sequía, etc., es la causa de la erosión. El factor de erosividad de la lluvia (R), o el factor R, en los modelos USLE y RUSLE, ya descritos (Sección 5.1.3.2) es un índice de erosividad de la lluvia, que es contrarrestado por las fuerzas naturales del suelo a resistir el proceso erosivo que comprende al menos cuatro acciones descritas por Kirby y Morgan (1980): 1) impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo; 2) probable sellado de los poros en la superficie del suelo; 3) infiltración, saturación y formación de flujo; y 4) resistencia a la sedimentación.

Las propiedades reconocidas en la literatura científica que contrarrestan a la agresividad climática y su efecto erosivo sobre el suelo, se dividen en: propiedades edáficas y topográficas, cuya descripción se presenta a continuación.

Factores intrínsecos que determinan la erodabilidad del suelo

a. *Propiedades edáficas.*- Las propiedades edáficas incluye al tipo de textura del suelo, contenido de materia orgánica, contenido de minerales en la capa superior del suelo, y procesos de agregación debida a los tres anteriores.

La textura del suelo se refiere al porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks *et al.*, 2004).

Del análisis de la cartografía para la Serie II de Edafología, resulta que en la capa superficial de las Unidades de suelos identificada, la textura media es dominante de modo que con ello se deduce que las proporciones de arena, limo y arcilla presenta las misma proporciones donde se ubican las textura clasificadas, de acuerdo al Sistema de

Clasificación de la USDA, como Suelos Francos, cuya distribución se muestra en la Figura 5.1.17.

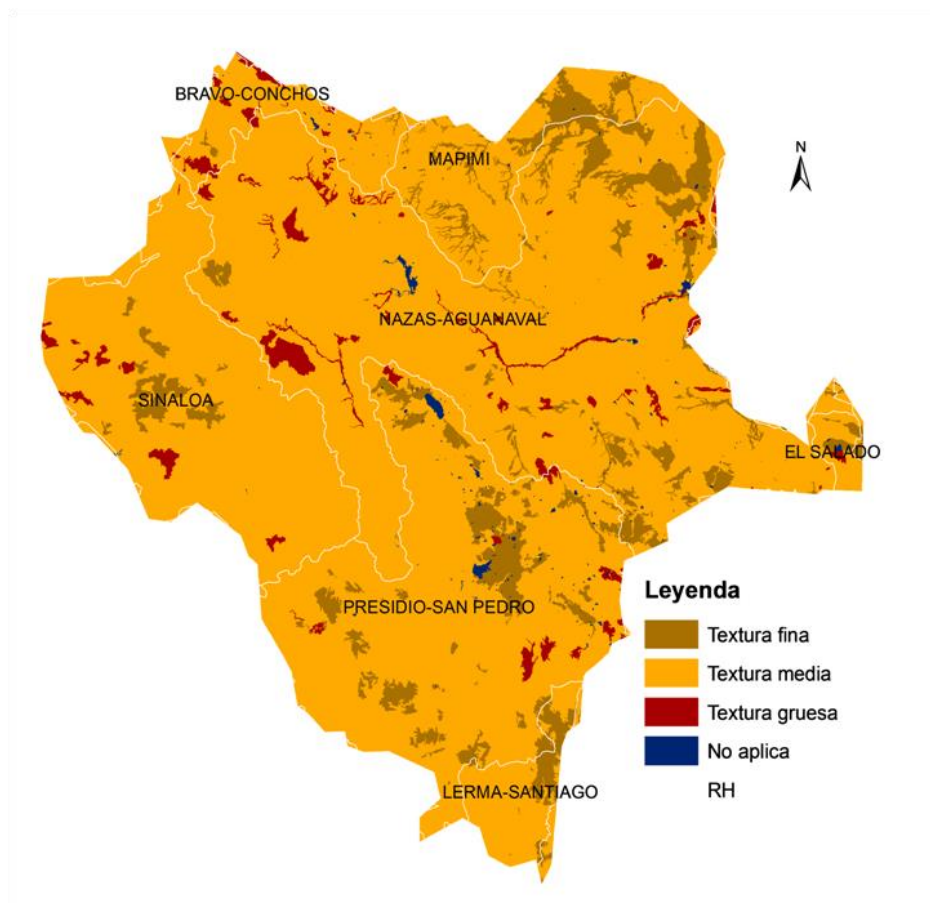


Figura 5.1.17 Clasificación textural de los suelos por Región Hidrológica del estado de Durango

La estabilidad estructural es una propiedad intrínseca del suelo que desde el punto de vista agronómico se define como la capacidad que este tiene para retener humedad y dejar pasar el agua libremente sin deformarse, propiedad que depende de la forma y tipo de agregados presentes, en cuyo caso su textura, contenido de materia orgánica son aspectos clave, como ha sido establecido en la literatura científica de las Ciencias del Suelo desde hace ya buen tiempo (Ortíz y Ortíz, 1984; Ruiz, 1994; López-Santos *et al.*, 2009).

b. Topografía y pendiente del terreno.- La topografía y pendiente del terreno considerando la respuesta mecánica derivada de la textura predominante en la capa

superficial del suelo, como ya se ha mencionado, pasarían a ser en este caso dos de los factores intrínsecos que influyen de modo directo en su capacidad de adaptación, y que en forma recíproca se expresa también en términos de erodabilidad o susceptibilidad a la erosión por la acción de los factores ambientales, tanto por la lluvia como por el viento.

Es así que al revisar la clasificación de suelos de la WRB (INEGI-G, 2008) en el territorio de Durango se identifican 17 Unidades de suelo, la mayor parte de las cuales (64.7 %) presentan una susceptibilidad de alta a media, cubriendo una superficie de 113,744.57 km² que en conjunto suman el 94.6% del territorio estatal (Tabla 5.1.9), cuya distribución se muestra en la Figura 5.1.18.

Capacidad de adaptación del suelo inducida por la acción antrópica

La capacidad de adaptación del suelo inducida por la acción antrópica se refiere a la acción individual o combinada de los actores del medio rural relacionados directa e indirectamente con la problemática de la erosión del suelo (sistema institucional y sistema socioeconómico), puesto que la erosión y degradación de los suelos tiene como origen cambios por extracción y manejo de la vegetación por las actividades forestales, ganaderas, agrícolas y por el crecimiento de los asentamientos humanos y las zonas urbanas (Cuevas *et al.*, 2010; Ojeda *et al.*, 2010).

Por un lado es de considerarse la acción gubernamental que por ley le obliga para que promuevan, divulguen y ejecuten programas encaminados a la conservación de los recursos naturales (agua, suelo, biodiversidad, etc.), así como mediante la participación de los productores, de manera individual o bien integrados en organizaciones no gubernamentales donde se encuentran los prestadores de servicios, técnicos, los mismos beneficiarios (productores y/o usufructuarios de la tierra) de las acciones de conservación y restauración de suelos, asociaciones civiles y las universidades.

Tabla 5.1.9 Distribución, superficie, importancia y sensibilidad relativa a la degradación y erosión de las principales unidades de suelo identificadas en el territorio de Durango con base en la WRB (World Reference Base for Soils Resources).

Nombre y clave	Distribución	Sup. km ²	IRUS %	SRDEH
Arenosol, AR	Pequeñas porciones localizadas al Noroeste de la RH Sinaloa.	122.1	0.1	Alta
Calcisol, CL	Distribución en la parte árida de la RH Nazas-Aguanaval; con presencia muy baja en la RH Presidio-San Pedro.	10,658.9	8.9	Alta
Leptosol, LP	Ampliamente distribuido en todo el estado, pero la mayor presencia está en la RH Presidio-San Pedro.	39,712.6	33.0	Alta
Phaeozem, PH	De norte a sur del estado y en porciones importantes de las RH Sinaloa y Presidio-San Pedro; corresponde primordialmente a los Valles de clima semiárido.	17,793.0	14.8	Alta
Regosol, RG	Localizados en las partes altas de las sierras de todo el estado; pero su presencia se aprecia primordialmente en las RH's Sinaloa y Bravo Choncos.	14,042.2	11.7	Alta
	Sumas 1 =	82,328.9	68.5	
Acrisol, AC	Casi ausente en el estado, únicamente se aprecian pequeñas áreas en el RH Lerma-Santiago.	227.2	0.2	Media
Chernozem, CH	Primordialmente se encuentra en la RH Nazas-Aguanaval y ligeramente al este de la RH Presidio-San Pedro.	4,264.6	3.5	Media
Cambisol, CM	Prácticamente en todas las RH del estado, pero se aprecian mayores densidades en las RH Sinaloa y Lerma Santiago.	5,749.7	4.8	Media
Castañozem, KS	Se encuentra en los suelos de clima semiárido y su presencia más importante se da en las RH Presidio-Sinaloa, Nazas-Aguanaval y Mapimí.	2,089.8	1.7	Media
Umbrisol, UM	En pequeñas áreas de la parte central del estado hacia el Oeste en la parte baja de la Sierra Madre Occidental.	3,553.2	3.0	Media
Luvisol, LV	Con presencia primordial en las RH Sinaloa, Presidio-San Pedro y Lerma-Santiago; en la cuenca baja de la RH Nazas-Aguanaval muestra áreas importantes.	15,531.1	12.9	Media
	Sumas 3 =	31,415.6	26.1	
Durisol, DU	De muy baja presencia en el estado, solamente se observan pequeños manchones en la parte media y alta de la RH 36.	494.7	0.4	Baja
Fluvisol, FL	Asociado a la presencia de los Ríos más importantes del estado en los Sistemas hidrológicos de la RH Nazas-Aguanaval y Presidio-San Pedro.	954.2	0.8	Baja
Gipsol, GY	De presencia muy particular en el extremo norte de la RH Nazas-Aguanaval y en la Mapimí.	231.2	0.2	Baja
Solonchak, SC	En la parte baja de la RH Nazas-Aguanaval y en pequeñas porciones de la RH Mapimí.	1,158.9	1.0	Baja
Solonetz, SN	En la parte baja de la RH Nazas-Aguanaval y en pequeñas porciones de la RH Presidio-San Pedro.	626.4	0.5	Baja
Vertisol, VR	De baja presencia en el estado, pero se observa zonas importantes en el norte de la RH Presidio-San Pedro.	2,522.3	2.1	Baja
	Sumas 2 =	5,987.5	5.0	
Otros, NA	Corresponde a cuerpos de agua y zonas urbanas.	543.8	0.005	
	Total (Sumas 1 + Sumas 2 + Sumas 3 + Otros) =	120,275.9	99.6	

Fuente: Elaboración personal con datos de la cobertura edafológica en formato vectorial (shp) en escala 1:250,000; IRUS= Importancia relativa de la Unidad de Suelo; SRDEH= Susceptibilidad relativa a la degradación y erosión hídrica; RH= Región hidrológica.

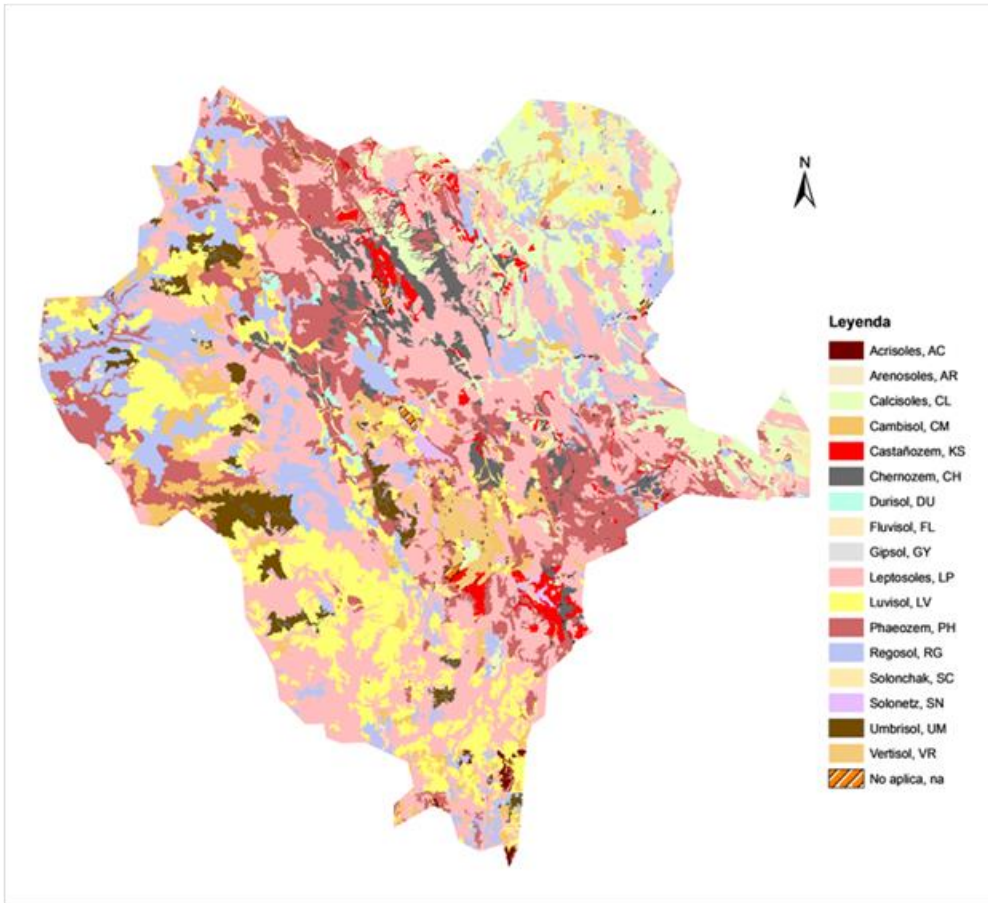


Figura 5.1.18 Principales unidades de suelo identificadas en el territorio del estado de Durango de acuerdo a la WRB (*World Reference Base for Soils Resources*).

Al respecto, es importante mencionar que la información relacionada con la acción gubernamental en materia de obras y servicios enfocados a la conservación de suelo, encabezados por la SEMARNAT-CONAFOR para zonas de bosque, así como la SAGARPA-CONAZA, mediante diferentes programas, donde destaca el Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, en particular el de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA), y de los proyectos transversales donde actúa la Comisión Nacional para las Zonas Áridas (CONAZA) en los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal); las acciones en términos territoriales puede observarse en la Figura 5.1.19.

Entre 2007 y 2010, la CONAFOR ha apoyado a los pobladores de terrenos forestales, para la protección, rehabilitación y manejo sustentable, con más de 17 mil millones de pesos, mediante los siguientes programas: Servicios Ambientales, Reforestación y conservación de suelos (PROCOREF), Desarrollo Forestal (PRODEFOR), Germoplasma de Planta, Plantaciones Forestales (PRODEPLAN), Incendios Forestales y Cuencas Prioritarias (Torres-Rojo, 2011).

Aunado a lo anterior, la SAGARPA (2011) reporta que en el período 2008-2010 el Componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA) ha apoyado la construcción de más de diez mil obras hidroagrícolas con capacidad para almacenar 113 millones de metros cúbicos de agua, cuya relación se muestra en el Tabla 5.1.10.

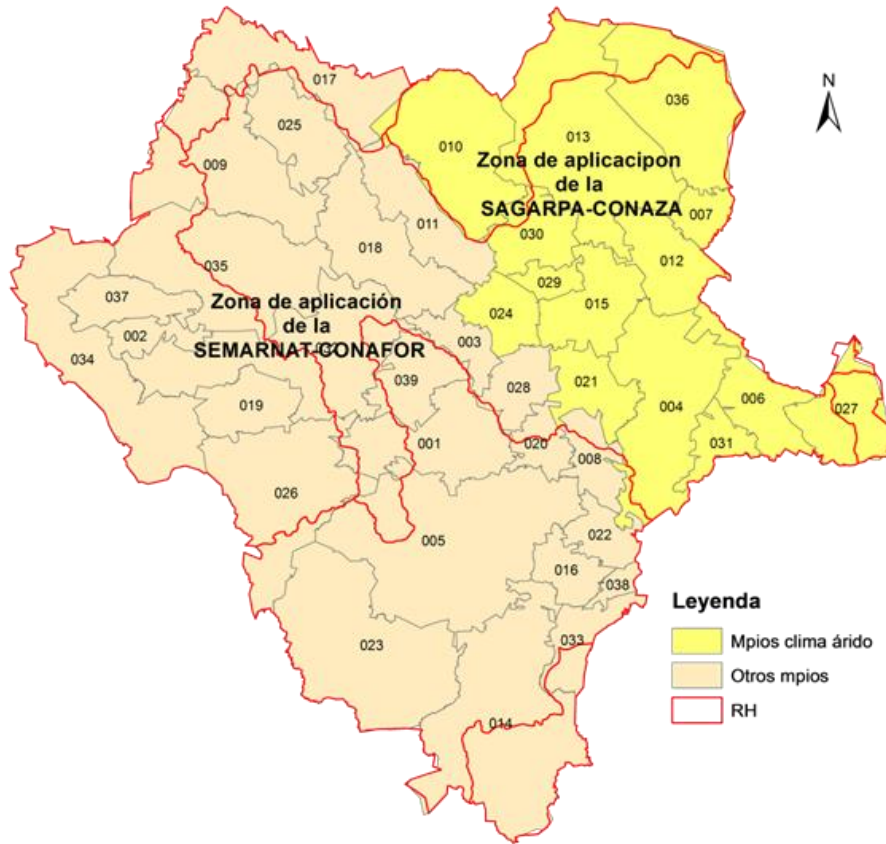


Figura 5.1.19 División territorial de las acciones gubernamentales en materia de conservación de Recursos Naturales.

Tabla 5.1.10 Obras enfocadas a la conservación y uso sustentable de suelo y agua entre 2008 y 2010.		
Tipo de obra	Número de obras	Almacenamiento promedio (m³/obra)
Bordos de tierra compactada	7,283	11,350
Pequeña presa de mampostería	1,548	16,039
Pequeña presa de concreto	106	34,453
Ollas de agua	902	1,607
Jagüeyes	668	778

Fuente: SAGARPA, 2011.

5.1.7 Resultados de la vulnerabilidad de los suelos de Durango

Primeramente, es importante mencionar que con el fin de calificar el grado de erosión laminar hídrica para Durango, se toma como referencia seis tipos propuestos en la literatura (Santacruz, 2011; Montes-León *et al.*, 2011), en la que los límites de los rangos extremos van de <50 a >250, como se indica a continuación (Tabla 5.1.11).

Tabla 5.1.11 Rangos de clasificación de la erosión hídrica		
Tipo	Rango (t/ha/año)	Calificación
1	< 50	Baja
2	50 - 100	Media
3	100 - 150	Considerable
4	150 - 200	Alta
5	200 - 250	Muy alta
6	> 250	Extrema

Fuente: Montes-León *et al.*, 2011.

Erosión laminar histórica y para el escenario 2010-2030

Para la descripción de las variables de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) la tasa de erosión laminar histórica, 1970 al 2010, en el territorio del estado de Durango se estimó en un rango de 0.02 a 163 t ha⁻¹·año⁻¹, presentándose el valor más alto en la Región Hidrológica (RH) Sinaloa, justamente al noroeste del Territorio en la Sierra Madre Occidental (Figura 5.1.20). Detalles de cálculo pueden verse en el Anexo 5.1-C Validación.

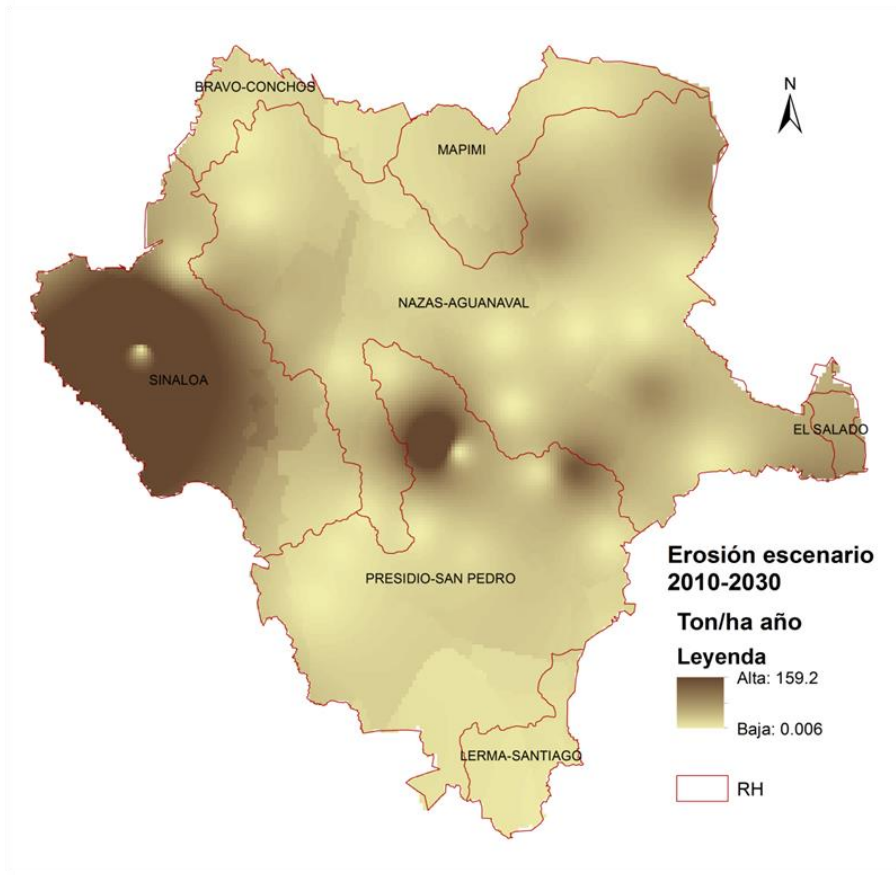
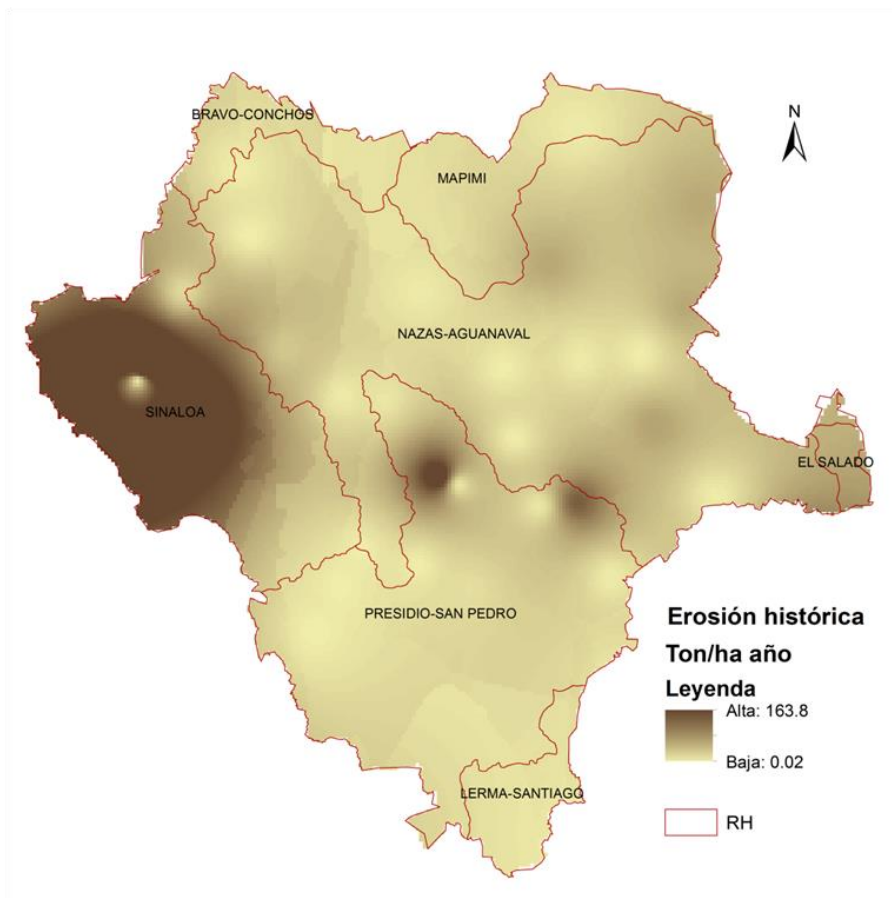


Figura 5.1.20 Tasa de erosión histórica y para el escenario 2010-2030 estimada por Región Hidrológica (RH) con base en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para el estado de Durango (Ver ANEXO 5.1-A Mapas, Anexo 14 y 15).

De acuerdo a los seis tipos descritos por Montes-León et al (2011), el valor máximo de erosión del rango calculado ($160 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) para el estado de Durango se identifica en el tipo 4 (de $150 \text{ a } 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), la cual está efectivamente clasificada como alta para este caso; tasas cercanas a las reportadas por otros autores (Dueñez-Alanís *et al.*, 2006) en estudios realizados entre 1998 y 1999 en la localidad de la Hacienda Santa Bárbara (Durango, México) a 47 km por la carretera federal No. 40, Durango-Mazatlán, en la región forestal de la sierra Madre Occidental ($23^{\circ} 43' \text{ N}$ y $104^{\circ} 51' \text{ O}$).

Sin embargo, el efecto de menor lluvia en el promedio anual para el escenario 2010-2030 sobre la erosión laminar al compararlo con el histórico, indica por consecuencia una disminución para el rango más alto ($163.8 - 159.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de erosión laminar de $4.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 5.1.20); esto, es sin considerar cambios positivos o negativos en la vegetación o en la intensidad de la lluvia como se ha estimado por medio de estudios de variabilidad climática en relación a la lluvia de todo el país (Méndez *et al.*, 2008) y en particular para la Región del Pacífico Norte (García-Páez y Cruz-Medina, 2009) y temperatura y severidad de la sequías en Durango (Rivera *et al.*, 2007).

Por ejemplo, García-Páez y Cruz-Medina, (2009) mencionan que en la mayoría de las estaciones climatológicas de México se registra que más de 70% de la precipitación anual se da de mayo a octubre, y concluyen que el país se caracteriza por un régimen de precipitación estacional debido, entre otras causas, a la presencia de eventos climáticos tales como: El Niño, La Niña, el monzón mexicano, la oscilación decadal del Pacífico, huracanes y tormentas tropicales.

Al respecto, Magaña *et al.* (2003) dicen que la ocurrencia y característica de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), es capaz de modificar los patrones normales del clima alrededor del mundo, y para México durante el invierno El Niño provoca que la precipitación aumente en el Noroeste, mientras que en el verano resulta en anomalías negativas de precipitación sobre la mayor parte del territorio mexicano; resultado en los que coinciden Pavia *et al.* (2006) al analizar aproximadamente 1000 estaciones enclavadas en el territorio mexicano.

Pavia *et al.* (2006) encontraron que la influencia del ENOS produce anomalías estadísticamente significativas para las lluvias de invierno y para las temperaturas de verano; fenómeno (ENOS) en el que coinciden varios autores (Heyerdahl & Alvarado, 2006; Magaña-Rueda, 2010) en el sentido de que afecta más directamente al territorio del estado de Durango que La Niña, constituyéndose con ello en una señal importante para considerarlo como un predictor de clima.

Es importante considerar lo anterior, puesto que los suelos que pasan de uso forestal a uso pecuario poseen las características de incrementar la escorrentía superficial, la erosión del suelo y reducir la capacidad de infiltración en contraste con los suelos forestales sujetos a aclareos o cortas de regeneración (Dueñez-Alanís *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2011), puesto que una menor disponibilidad de humedad en el suelo tendrá como consecuencia un incremento en la vulnerabilidad del suelo a la erosión eólica.

5.1.8 Conclusiones de la vulnerabilidad de los suelos

Los suelos del estado de Durango presenta una sensibilidad por causas naturales y condiciones de uso antrópico en poco más de 1.5 millones de hectáreas; sensibilidad que técnicamente se expresa en diferentes grados de deterioro o degradación del suelo, fenómeno que inicialmente puede darse debido a la acción de los factores ambientales. Por sus características geomorfológicas, como son el relieve y las topoformas, así como por las propiedades edáficas en ambientes de uso intensivo de la tierra en bosques, pastizales de uso ganadero y agricultura de temporal, lo colocan en una situación crítica considerando los rangos de clasificación para la erosión hídrica, al ocupar el lugar 4 de seis tipos de erosión propuestos en la literatura científica para el caso de México.

El gradiente de vulnerabilidad de los suelos a la erosión hídrica se observa de la zona Oeste al Este del territorio estatal, en el dominio de la Sierra Madre Occidental, fenómeno primordialmente originado por los impactos erosivos de la lluvia -por la energía cinética de las gotas de agua al caer sobre suelo desnudo- donde se superan con facilidad 500 mm anuales, dando lugar a que en las Regiones Hidrológicas Sinaloa, parte de la Presidio-San Pedro y casi la totalidad de la Lerma-Santiago, tanto por la topografía, como por la

posición latitudinal, presentan los rangos de escurrimientos superficiales más altos, encontrándose en el orden de los 500 a los 1,000 mm; en tanto que la RH Nazas-Aguanaval, también presenta zonas vulnerables, primordialmente en la parte más alta de la cuenca y en zonas con pendientes >5%.

La capacidad de adaptación del suelo inducida por la acción antrópica, individual o combinada, de los actores del medio rural relacionados directa e indirectamente con la problemática de la erosión del suelo (sistema institucional y sistema socioeconómico), es un aspecto que debe ser evaluado con estudios puntuales, como los reportados para algunos lugares de la Sierra Madre Occidental donde predominan los bosques de coníferas, fuente importante de recursos para la economía estatal, puesto que la erosión y degradación de los suelos tiene como origen cambios por extracción y manejo de la vegetación por las actividades forestales, ganaderas, agrícolas y por el crecimiento de los asentamientos humanos y las zonas urbanas; sobre todo porque la acción gubernamental que por ley le obliga para que se promuevan, divulguen y ejecuten programas encaminados a la conservación de los recursos naturales (agua, suelo, biodiversidad, etc.), así como mediante la participación de los productores, de manera individual o bien integrados en organizaciones no gubernamentales donde se encuentran los prestadores de servicios, técnicos, los mismos beneficiarios (productores y/o usufructuarios de la tierra) de las acciones de conservación y restauración de suelos, asociaciones civiles y las universidades.

Por último, si bien es cierto al considerar la Precipitación Media Anual (PMA) probablemente se subestima el impacto de la PMA en la erosión del suelo, y el efecto futuro en la vegetación y sequías derivadas de altas temperaturas, también es cierto que los modelos disponibles para estimar las tasas de erosión hídrica no lo consideran para periodos diferentes como podrían ser estacionales o mensuales; en cuyo caso habría que desarrollarlos conforme a la variabilidad climática demostrada ampliamente en la literatura científica, y descrita brevemente en el presente estudio.

5.2 Evaluación de la Vulnerabilidad del Maíz de Temporal del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático



5.2.1 Resumen de la vulnerabilidad del Maíz

En el pasado reciente, los temas ambientales se encontraban o eran considerados como temas secundarios dándose mayor importancia al crecimiento económico y desarrollo social; sin embargo la atención y parcial solución a estos problemas, no garantiza que los ecosistemas naturales respondan positivamente en consecuencia. Hoy en día, las cuestiones ambientales conforman uno de los principales problemas y ocupa la agenda política a nivel mundial debido a los grandes eventos extremos y desastres naturales que se han venido presentando desde décadas anteriores.

El fenómeno más destacable es el calentamiento global y, a un nivel más profundo, el Cambio Climático, debido a la magnitud de su extensión, y por las implicaciones, económicas, sociales y ambientales, compromete el futuro de muchos países, entre ellos México. Muchos de los sectores económicos en nuestro país, están sujetos a una vulnerabilidad climática debido a las condiciones en las cuales se desarrollan, siendo el sector agrícola uno de los más afectados.

Tanto a nivel nacional como a nivel estatal, gran parte de la agricultura se desarrolla en la modalidad hídrica de temporal, situación que la expone grandemente a los cambios en la frecuencia e intensidad de la precipitación y a la incertidumbre climática. El balance hídrico en el suelo es variable decisiva en el ciclo de desarrollo de los cultivos.

El presente estudio analiza una serie de escenarios climáticos para el estado de Durango utilizando una de las herramientas que actualmente ha surgido como necesidad para evaluar los impactos del Cambio Climático, como lo son los procedimientos de regionalización o reducción de escala en el contexto de la modelación física del clima. Estos escenarios fueron elaborados propiamente por el grupo de trabajo que involucra la evaluación de los impactos del Cambio Climático en el sector agricultura. Enseguida, se hace uso de la modelación de cultivos para estimar los posibles rendimientos en el Maíz de temporal, utilizando las salidas de los escenarios generados y así, poder estimar cual sería la situación del rendimiento para este cultivo en el estado de Durango en el futuro cercano.

Los resultados sugieren en base a los escenarios realizados, que se tendrán incrementos tanto en la variable temperatura máxima como mínima, así como en la variable precipitación para algunos sitios, así como disminución en las variables mencionadas anteriormente para otras regiones del estado.

Referente a los rendimientos se estima una serie de incrementos en las partes altas del estado con un gradiente de disminución hacia las partes bajas. Se espera que la condición para este cultivo mejore en base a las salidas de los escenarios generados, sin embargo, estos resultados son solo una aproximación a lo que puede suceder basado en el escenario utilizado.

Los resultados aquí mostrados, contribuyen a prever los posibles impactos en la agricultura de temporal, sin embargo se recomienda realizar más estudios con otros modelos y técnicas de modelación, para que se tengan más resultados que sustenten lo aquí presentado, y que permitan mejorar la ejecución de procedimientos a los tomadores de decisiones.

5.2.2 Introducción de la vulnerabilidad del Maíz

El calentamiento de la Tierra provocado por la civilización industrial es un fenómeno complejo, tanto en sus raíces como por su desarrollo, como por las consecuencias que puede tener (López, 2000; Kliejunas *et al.*, 2009; NSF, 2009; TERI, 2009; Monckton, 2007). Un fuerte consenso científico ha determinado que la tendencia que se observó de un gran calentamiento en el siglo XX seguirá su curso en los próximos decenios y que las actividades humanas son el motor más importante para muchos de los cambios observados (The National Academies, 2009).

Actualmente, la investigación en la ciencia del clima está enfocada en un núcleo de pocas líneas de investigación y excelentes revisiones están disponibles respecto al tema (Wilby, 2007). Estas líneas de investigación incluyen: 1) medición, estimación y monitoreo de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera; 2) la sensibilidad y los forzamientos radiativos: que comprende el desarrollo de escenarios y evaluaciones a través de modelos para la simulación del sistema tierra-océano-atmósfera para modelar

las respuestas a estímulos externos; 3) procesos de reducción de escala (Downscaling) de las salidas de los Modelos de Circulación General (GCMs) que son usados para proyectar el Cambio Climático global, y 4) la descripción y la traducción de los datos climáticos a futuro para los profesionales y tomadores de decisiones en todas las escalas (Ziervogel *et al.*, 2008; Magaña, 2009).

Para entender el fenómeno del Cambio Climático global, primero hay que entender lo que es el clima, para no confundirlo con estado del tiempo. El clima es típicamente descrito por las estadísticas de un conjunto de variables atmosféricas y de superficie, en un periodo largo de tiempo, tales como la temperatura, precipitación, viento, humedad, nubosidad, humedad del suelo, temperatura superficial del mar, entre otras variables; el período habitual es mínimo de 30 años (TERI, 2009; Kliejunas *et al.*, 2009; IPCC, 2007; The National Academies, 2001). Tiempo (meteorológico), o estado del tiempo son los términos usados para referirse al estado instantáneo de la atmósfera, o bien, al estado atmosférico y los procesos relacionados, en un intervalo de tiempo (cronológico) relativamente corto. Los procesos del estado del tiempo pueden ocurrir en plazos que van desde minutos hasta días, en sí; el estado del tiempo es la manifestación diaria del clima (Vázquez, 2010; TERI, 2009; Cowie, 2007).

A su vez, calentamiento global y Cambio Climático son conceptos estrechamente interrelacionados que en ocasiones son confundidos o utilizados como sinónimos. Cambio Climático se refiere a un cambio significativo y persistente en el estado medio del clima o en su variabilidad. El Cambio Climático ocurre en respuesta a cambios en algunos aspectos del medio ambiente de la Tierra: estos incluyen cambios regulares en la órbita terrestre alrededor del Sol, re-disposición de los continentes a través de movimientos de placas tectónicas, o la modificación antropogénica de la atmósfera. El uso común de “calentamiento global” a menudo se refiere al calentamiento que ha ocurrido como resultado del incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero derivado de las actividades humanas. Calentamiento global es un tipo de Cambio Climático, y que puede también conducir a otros cambios en las condiciones del clima (NSF, 2009; IPCC 2007; López, 2000; González *et al.*, 2003).

Con base en los informes del grupo de expertos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) a escala global y regional los efectos del Cambio Climático se verán reflejados en muchos sectores de nuestra sociedad. El Cambio Climático agrava las preocupaciones sobre la producción agrícola y seguridad alimentaria en todo el mundo (Rosenzweig, 2007). Los factores climáticos son algunos de los principales limitantes de la producción de cultivos, mientras que la agricultura tiene un historial de responder a las cambiantes condiciones, ya sean económicas, sociales, políticas o relacionadas con el clima; el posible aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos y otros desafíos que plantea el Cambio Climático ahora da lugar a la necesidad de volver a evaluar la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas (Wreford *et al.*, 2010).

El adecuado entendimiento del Cambio Climático nos permitirá tener una mejor perspectiva de los cambios que están sucediendo a nivel global, y que tendrán impactos a escala local y regional, y poder discernir sobre las posibles situaciones y/o toma de decisiones respecto a un evento determinado (Esquivel, 2011). Basado en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la vulnerabilidad del cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de temporal para el estado de Durango, haciendo uso de técnicas estadísticas de reducción de escala para la generación de escenarios de Cambio Climático y uso de la modelación de cultivos, para los próximos 30 años.

5.2.3 Antecedentes del estudio de la vulnerabilidad del Maíz

Los impactos del cambio en los patrones del clima han puesto de manifiesto la vulnerabilidad de los ecosistemas (Sánchez *et al.*, 2009). En los últimos años, la disminución de la vulnerabilidad al Cambio Climático se ha convertido en un tema urgente para todos los países, y tiene un énfasis especial para los países en desarrollo. Estos países no sólo no cuentan con los medios para enfrentar las amenazas climáticas, sino que también sus economías suelen depender más de los sectores susceptibles al clima, tales como la agricultura, recursos hídricos, entre otros (Lim y Spanger-Siegfried, 2010).

La herramienta principal para hacer proyecciones sobre el Cambio Climático en el futuro son los modelos físicos complejos. Para analizar la gama completa de escenarios se hace necesario complementarlos con modelos físicos simples, calibrados para ofrecer una respuesta equivalente a los complejos. Los modelos climáticos son una herramienta esencial para entender el clima actual y su variabilidad. El clima es quizá el factor natural más difícil de modelar debido a las enormes variaciones en espacio y tiempo de las variables que lo definen (Sánchez *et al.*, 2009).

El rápido aumento en los últimos decenios en la disponibilidad, potencia y velocidad computacional ofrece oportunidades para obtener más detalles, modelos más realistas, pero que requieren actualización periódica de los equipos básicos para evitar la obsolescencia. Los modelos climáticos calculan los resultados después de tomar en cuenta el gran número de variables climáticas y las complejas interacciones inherentes en el sistema climático (Figura 5.2.1) (IPCC, 2010; The National Academies, 2008; 2006).

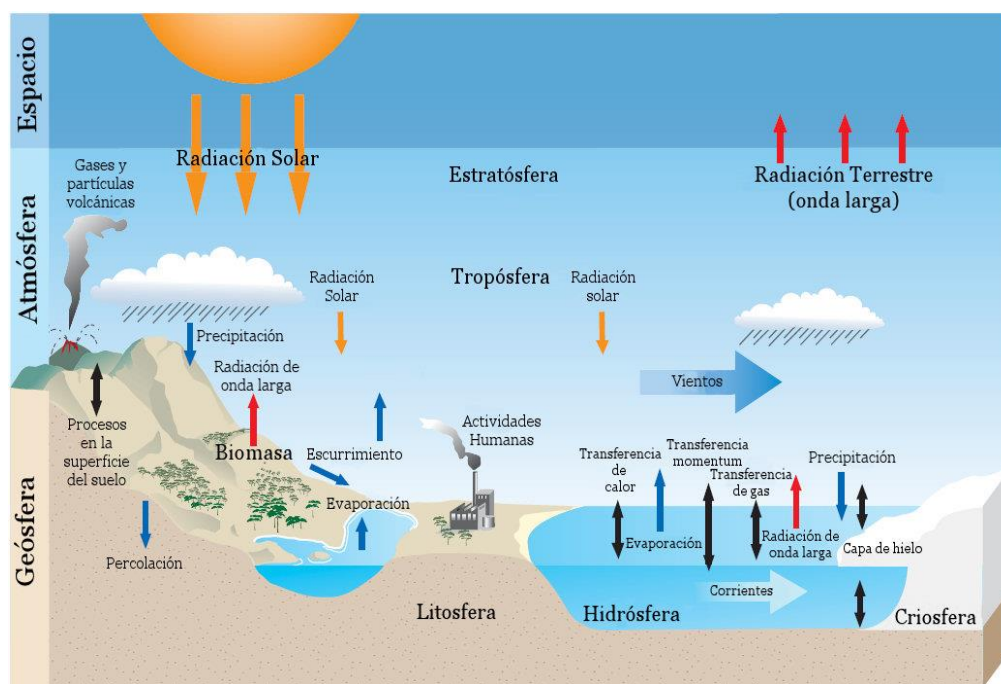


Figura 5.2.1 Componentes del sistema climático global. *Fuente: Esquivel, 2011.*

El propósito de las proyecciones es la creación de una realidad simulada que pueda ser comparado con la realidad observada, sujetos a correspondientes mediciones promedio. Así, tales modelos pueden ser evaluados a través de comparación con las observaciones,

siempre que las observaciones convenientes existan (NSF, 2009; The National Academies, 2001). Los procedimientos para pronosticar los efectos de las variaciones climáticas en la agricultura son relativamente recientes. En el decenio de los 1970's fue característico el uso de modelos de regresión para inferir relaciones estadísticas entre el clima y sus efectos potenciales en los rendimientos agrícolas (Conde *et al.*, 2004; Krishnan *et al.*, 2009).

El Fondo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) decidió, durante la Conferencia Alimentaria Mundial de 1974, establecer un sistema de información y alerta sobre alimentación y agricultura a nivel mundial, teniendo como objetivos principales el seguimiento de las condiciones del cultivo, así como el pronóstico de rendimientos, especialmente en los países en desarrollo. Esta iniciativa propició el desarrollo de modelos agroclimáticos para la estimación de los impactos del clima en los cultivos (Conde *et al.*, 2004; Tebaldi y Knutti, 2010; White y Hoogenboom, 2010; Lobell, 2010).

Dentro del marco de la productividad de los sistemas agrícolas, estos dependen principalmente de la distribución temporal y espacial de la precipitación y de la evaporación, así como de la disponibilidad de recursos de agua dulce para el riego, especialmente de cultivos. Los sistemas de producción de áreas marginales en términos hídricos estarían abocados a una mayor vulnerabilidad climática y a un mayor riesgo en caso de Cambio Climático, debido a factores como: por ejemplo la degradación de los recursos terrestres por erosión del suelo, la sobreexplotación de las aguas subterráneas y la consiguiente salinización, o el pastoreo excesivo en tierras secas (FAO, 2003; Trethowan *et al.*, 2010; Pimentel, 2009; Bruinsma, 2003).

En esas áreas marginales, la agricultura en pequeña escala es especialmente vulnerable al cambio y variabilidad del clima, y los factores de estrés socioeconómicos suelen agravar unas condiciones medioambientales ya de por sí difíciles (Bates *et al.*, 2008; Rosenzweig, 2007).

En México, como en todos los países, los desastres de origen meteorológico ocasionan impactos negativos en la población, el medioambiente y diversos sectores económicos. La magnitud de los fenómenos meteorológicos extremos se ha incrementado, lo cual es difícil atribuir o no directamente al Cambio Climático; sin embargo el país es cada vez más vulnerable a condiciones extremas de tiempo y clima (SEMARNAT, 2009a).

La agricultura de nuestro país es vulnerable a las variaciones climáticas extremas, como son las sequías, las inundaciones y las heladas, debido a que se desarrolla fundamentalmente en condiciones de secano. Conde *et al.*, (2000) realizaron un estudio sobre el cultivo del Maíz utilizando el modelo de simulación CERES-Maize, donde encontraron que los efectos de un Cambio Climático en los rendimientos de Maíz de temporal serían negativos, con acortamientos en la estación de crecimiento del Maíz, particularmente en la fase de llenado de grano.

Sin embargo, en los sitios con una altura mayor de los 2000 msnm en el centro de México, los incrementos de temperatura propuestos resultarían benéficos, aún en los casos de decrementos en la precipitación. El cultivo de Maíz de temporal se realiza prácticamente en todo el país, aún en aquellas zonas con climas, suelos o pendientes no propicios (Liverman, 1994).

A su vez, resultados de un estudio reciente (INE, 2007) señalan que un incremento en la temperatura ambiental podría intensificar el desarrollo del cultivo del Maíz, debido a una mayor tasa de acumulación de calor. Lo anterior favorecería la reducción del ciclo fenológico, aunque con un potencial decremento en la producción al contar con menos tiempo disponible para absorción de nutrientes, para la interceptación de energía solar y para las actividades metabólicas. Dicha situación podría presentarse para el cultivo de Maíz en tres regiones definidas en el estudio como es el Centro de México, Chiapas y Jalisco, con afectación potencial en las fases críticas del cultivo, como la floración, la formación o el llenado del grano, en caso de que los incrementos de temperatura coincidan con alguna de éstas.

En base a la Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, algunos de los efectos directos del Cambio Climático en la agricultura de México que podrían presentarse de manera diferenciada en algunas regiones, y de acuerdo a sus condiciones particulares son los siguientes (SEMARNAT 2009b):

- Cambios en el desarrollo y productividad de los cultivos, por afectaciones en los ciclos fenológicos.
- Incremento en el periodo libre de heladas de las zonas agrícolas, que se traduciría en un mayor periodo útil para el desarrollo de algunos cultivos y aumento en el número de ciclos agrícolas por año.
- Reducción en la superficie cultivable y en los rendimientos generados en zonas de temporal, debido al aumento en la duración e intensidad de la sequía.
- Afectaciones en los distritos de riego del noroeste del país, en cuanto a disponibilidad de agua.

5.2.3.1 La agricultura de temporal en el estado de Durango

La actividad agrícola en el estado de Durango, en términos de superficie se realiza principalmente bajo la modalidad hídrica de temporal. En base a información de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del estado de Durango (OEIDRUS) para el período 1980–2009, la superficie total promedio sembrada fue de 521,487 ha en la modalidad hídrica de temporal, respecto a 103,494 ha sembradas en condiciones de riego, lo que representa que el 83 % de la superficie total en el estado se siembra en temporal, esto considerando el año agrícola, que implica el ciclo PV-OI. Respecto a la superficie cosechada hay cierta variación histórica, bajo condiciones de riego de la superficie que se siembra se cosecha aproximadamente el 97 %; sin embargo, en condiciones de temporal en promedio sólo se cosecha el 85 % (Figura 5.2.2).

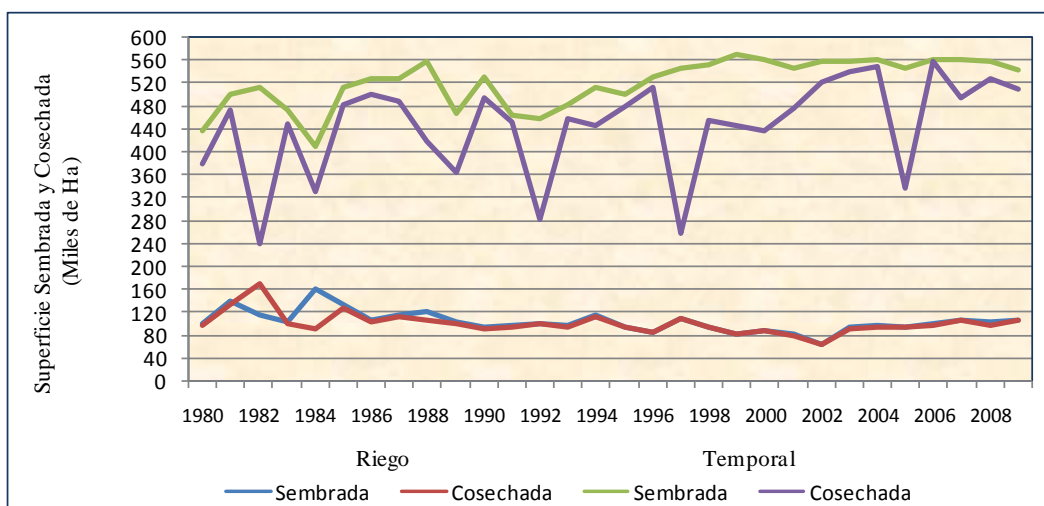


Figura 5.2.2 Evolución anual histórica de la superficie sembrada y cosechada por modalidad hídrica. (Elaboración propia con datos de la OEIDRUS – Durango)

Como se puede ver en la Figura 5.2.2, la vulnerabilidad de la agricultura que se siembra en condiciones de temporal es más elevada con respecto a la agricultura de riego, en el año 1982, sólo se cosechó el 46% del total, en 1992 el 61%, en 1997 sólo el 47% y en el 2005 61 % respectivamente. En lo que se refiere al valor de la producción por modalidad hídrica, la situación no es tan diferenciada.

En la década de los 80`s la situación se mantenía casi en la misma situación respecto a los ingresos en la misma modalidad, sin embargo a partir del decenio de los 90`s se presenta una tendencia a la baja y a la alta respecto a cada modalidad. Como se puede ver en la gráfica de la Figura 5.2.3, la situación respecto al valor de la producción en el estado, los ingresos en base a la modalidad de temporal en algunos años, son incluso mayores que los de la modalidad de riego, por lo que la convierte en una pieza clave dentro de la producción agrícola estatal, dentro de los cultivos principales que destacan en cuanto a superficie y valor de la producción se encuentran el Frijol, Maíz, Avena, trigo, cebada, girasol, garbanzo y canola, entre otros.

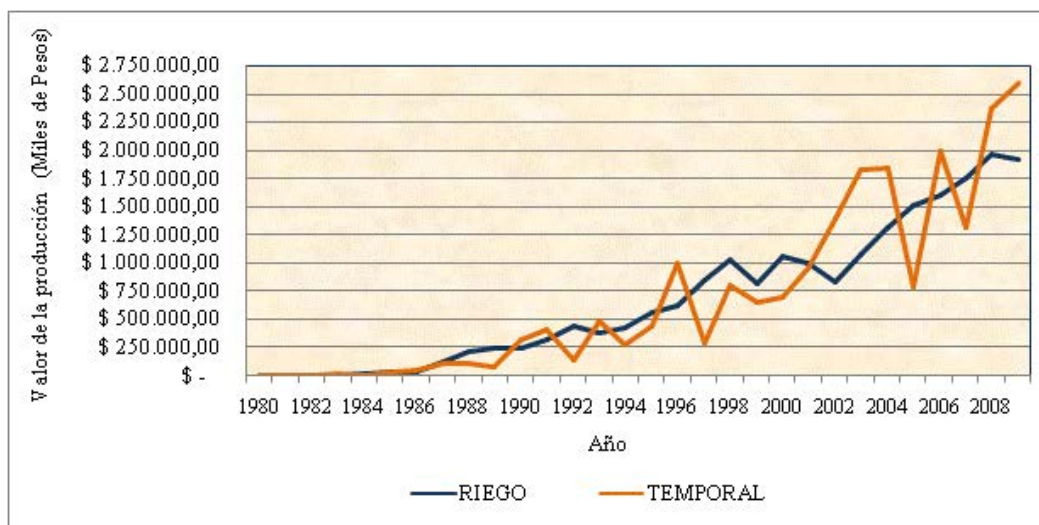


Figura 5.2.3 Evolución anual histórica del valor de la producción por modalidad hídrica (Elaboración propia con datos de la OEIDRUS – Durango)

5.2.4 Marco metodológico empleado

El presente estudio se realizó en el estado de Durango, el cual se encuentra en el Noroeste de la República Mexicana, en las coordenadas geográficas extremas al Norte 26° 53', al Sur 22° 16' de Latitud Norte; al este 102° 29' y al Oeste 107° 16' de Longitud Oeste (Figura 5.2.4). Respecto al porcentaje territorial en el país representa el 6.3 % de la superficie con una extensión de 123 181 km², lo cual lo sitúa en el cuarto sitio de la clasificación estatal por extensión territorial, la altitud promedio es de 1775 msnm.

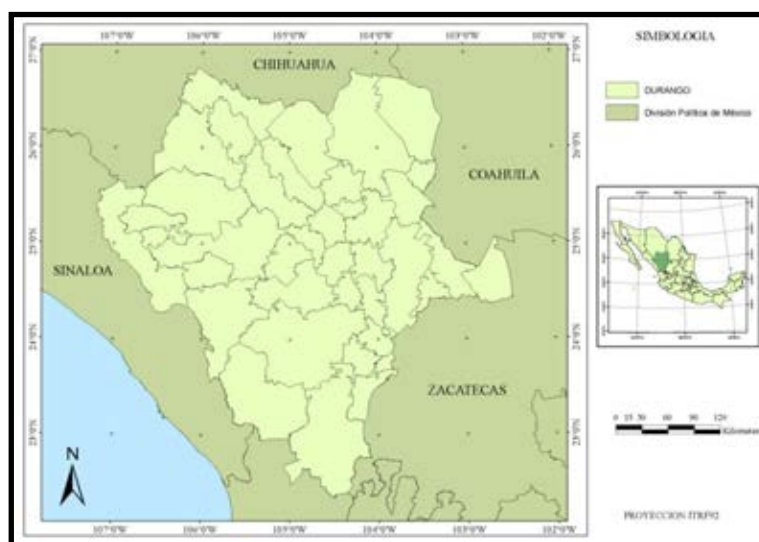


Figura 5.2.4 Localización geográfica del estado de Durango

Colinda al norte con el estado de Chihuahua y Coahuila de Zaragoza; al este con Coahuila de Zaragoza y Zacatecas; al sur con el estado de Zacatecas, Nayarit y Sinaloa; y al oeste con Sinaloa y Chihuahua (INEGI, 2008). Los procedimientos para la realización del presente estudio se presentan en el siguiente diagrama de flujo (Figura 5.2.5) el cual inicia con la selección de las estaciones climatológicas que se encuentran en el estado.

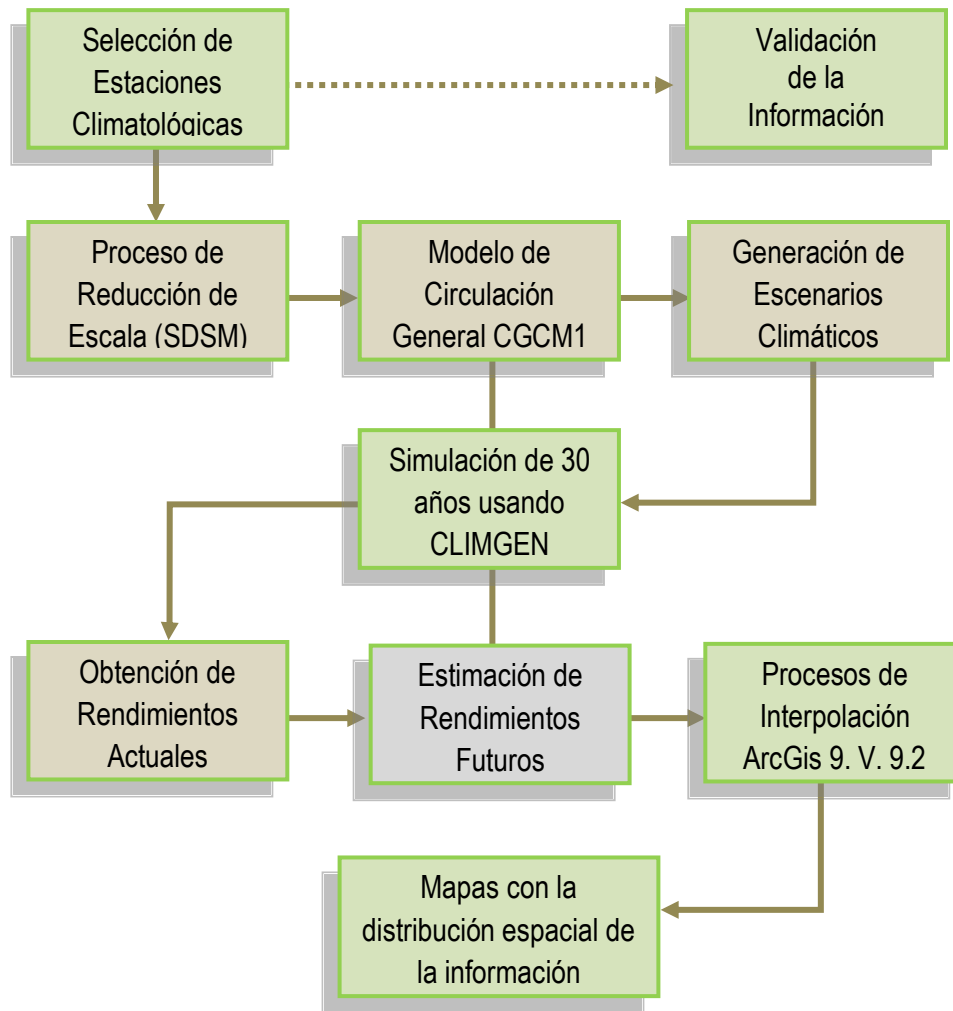


Figura 5.2.5 Procedimiento para la realización del estudio de vulnerabilidad

Una vez validadas se procedió a realizar el proceso de regionalización para la obtención de escenarios futuros de temperatura y precipitación, que posteriormente mediante un generador climático se obtuvieron las matrices climáticas que serían incluidas en el modelo de cultivo para la simulación de rendimientos y finalmente se elaboraron los mapas con la distribución espacial de los resultados.

5.2.5 Variables y fuentes de datos empleados

En la etapa de selección de estaciones climatológicas, específicamente para el estudio de vulnerabilidad del Maíz, los escenarios climatológicos se realizaron de manera similar a lo descrito en la sección 5.1.5.5. Cabe destacar que los escenarios para el sector agrícola tienen la característica de considerar los promedios anualizados o estacionales de las variables climáticas, ya que dichos promedios están vinculados directamente con los rendimientos de producción del cultivo.

De un total de 45 EM-SMN seleccionadas para el estudio de vulnerabilidad; 31 pertenecen al estado de Durango, seis a Sinaloa, tres a Zacatecas, dos a Chihuahua, dos a Nayarit y una a Coahuila.

Los escenarios climatológicos regionalizados fueron obtenidos haciendo uso del modelo Statistical Downscaling Model (SDSM) acoplado a la malla de gran resolución de los Modelos de Circulación General (MCGs), mediante técnicas de regresión lineal múltiple entre el clima a gran escala (los predictores) y el clima local (el predictando). Los datos de los predictores fueron obtenidos del modelo de circulación canadiense CGCM1 del Centro Canadiense de Modelación y de Análisis Climático³. La decisión de emplear el CGCM1, correspondió a los expertos del área, quienes consideraron a dicho modelo lo suficientemente robusto pues éste ya había sido probado en otros estudios similares; además, el modelo es de libre acceso.

Con base en los objetivos del estudio, una de las fases fue obtener los rendimientos actuales de Maíz de grano en condiciones de temporal; para poder obtener la información más reciente para el estado de Durango se utilizó la base de datos proporcionada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el cual concentra la base de datos de producción de diversos cultivos de todo el país, y ofrece información a nivel estado, municipio y distrito de riego (DDR), la cual puede ser consultada en la siguiente

³ <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi>

dirección:

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351.

Para la modelación de los rendimientos futuros del Maíz, se utilizó el modelo EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) el cual utiliza una serie de parámetros de entrada, respecto al clima, suelo y prácticas de manejo del cultivo para poder ejecutar las simulaciones. En el proceso de regionalización, el modelo SDSM no genera todos los valores necesarios para ser ingresados al modelo de cultivo, por lo cual, se utilizó el generador climático para realizar esta función.

Finalmente para realizar los mapas se utilizó el Sistema de Información Geográfica, ArcGis ver. 9, ArcMap 9.2 y basado en información vectorial del INEGI y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) para el estado de Durango se realizaron los mapas de localización en el país y se ingresaron las estaciones climatológicas seleccionadas en la primera etapa.

5.2.5.1 Exposición al Cambio Climático

En este estudio, el período de análisis fue de 2010-2039 utilizando el modelo de circulación general canadiense CGCM1 (software de uso libre) el cual toma en cuenta los impactos combinados de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los aerosoles sulfatados sobre el clima, proporciona el escenario de emisión de CO₂ IS92a⁴. El modelo CGCM1 es un modelo espectral con una componente atmosférica de 10 niveles verticales de resolución de 3.7° de latitud y 3.7° de longitud y una componente oceánica con una resolución de 1.8756° de latitud y 1.877° de longitud y 29 niveles verticales. El MCG representa de manera realista y adecuada el clima contemporáneo observado en términos de temperatura, de precipitación y de variabilidad estacional interanual (Flato *et al.*, 2000).

⁴ Escenario donde el crecimiento económico (1990-2025) (Producto nacional bruto/habitante) es del 2.9 %, y de 2.02 % para 2025-2100 (Producto nacional bruto/habitante). La proyección de la población en 2100 es de 1.416 millardos (miles de millones) para los países desarrollados ("desarrollados" representa la suma de la OCDE, la URSS y Europa Oriental) y de 9.896 millardos para el resto del mundo. Una mezcla de fuentes de energía convencionales y renovables se utilizan. Sólo los controles de emisiones acordados internacionalmente y las políticas nacionales en ley, por ejemplo, las enmiendas de Londres y el Protocolo de Montreal, están incluidos (IPCC, 1997).

5.2.5.2 Sensibilidad y vulnerabilidad al Cambio Climático

La sensibilidad al Cambio Climático se refiere al grado en que un sistema agrícola responde positiva o negativamente, a cambios en los patrones climáticos (Ojeda *et al.*, 2010). Los efectos potenciales directos en la Agricultura se refleja en los cambios estacionales de temperatura y precipitación en las condiciones agroclimáticas (Qaderi y Reid, 2009; Sivakumar *et al.*, 2005), lo cual altera las estaciones de crecimiento, así como los calendarios de siembra y cosecha de los cultivos; la disponibilidad de agua, y la aparición de poblaciones de plagas y enfermedades. La evapotranspiración, fotosíntesis y producción de biomasa se verían alteradas, así como la aptitud del suelo (Rosegrant *et al.*, 2008; Lichtfouse, 2009).

El agua desempeña un papel crucial en la producción regional y mundial de alimentos. Por una parte, más de un 80% de las tierras agrícolas del mundo depende de la lluvia; en esas regiones, la productividad de los cultivos depende únicamente de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (Bates *et al.*, 2008; Pimentel, 2009; Bruinsma, 2003). Por otra parte, la producción mundial de alimentos depende del agua, no sólo en forma de precipitación, sino también, fundamentalmente, en forma de recursos hídricos disponibles para el riego (Bates *et al.*, 2008).

Mientras que un déficit excesivo de agua se traduce en vulnerabilidad de la producción, un exceso de agua puede tener también efectos no deseados sobre la productividad de los cultivos, ya directamente (por ejemplo, afectando a las propiedades del suelo y dañando el crecimiento vegetal), ya indirectamente (por ejemplo, impidiendo o retrasando las necesarias labores agrícolas). Los episodios de precipitación intensa, la humedad excesiva del suelo y las crecidas interfieren en la producción de alimentos y en los medios de subsistencia rurales a nivel mundial (Rosenzweig *et al.*, 2002; FAO, 2003; Kurukulasuriya y Rosenthal, 2003).

En nuestro país, respecto a los efectos del fenómeno El Niño, particularmente en el régimen de lluvias, es claro que la disminución de la precipitación durante veranos de El Niño afecta el ciclo agrícola primavera - verano, fundamental para la producción agrícola. Las prácticas agrícolas de temporal en México son particularmente sensibles a cualquier alteración en la estación de lluvias, ya sea por retraso, por irregularidad o deficiencia persistente en las precipitaciones. Condiciones de sequía pueden provocar desde la pérdida de algunos cultivos, hasta hambrunas y migraciones en vastas regiones del país (Conde *et al.*, 2004).

La sequía asociada a El Niño tiene efectos diferentes dependiendo de la región considerada. Liverman (1990) encontró que en Puebla, los efectos de la sequía para el período de 1982 - 1983 fueron mayores para los productores con acceso a tecnologías agrícolas modernas y créditos, derivados del Plan Puebla (Peña y Ramírez, 1993), que para los productores que siguieron esquemas de agricultura tradicional y aún para los que no sembraron y emigraron temporalmente a las ciudades, debido a que los primeros, además de perder la cosecha, aumentaron sus deudas.

En 1998 padecimos por largos meses un calor abrumador. Ese año fue uno de los más cálidos del siglo por efecto del fenómeno El Niño. Tanto en México como en otras regiones del planeta disminuyeron y se retrasaron las lluvias, lo que provocó una grave sequía que afectó a diferentes actividades productivas, entre ellas la agricultura, la ganadería y la pesca. En el 2005, que ha sido el más caliente de los últimos cien años, el retraso en las lluvias de verano resultó en una caída de más de 13% en la producción agrícola del país. El área de cultivos dañada fue de 669 mil hectáreas y los costos totales de la sequía ascendieron a cerca de 779 millones de pesos. El Cambio Climático no sólo afecta los volúmenes de producción, sino también su calidad (SEMARNAT, 2009a).

5.2.6 Análisis comparativo de temperatura y precipitación observada y proyecciones regionalizadas en el estado de Durango

A continuación se expone cual es la situación actual de las variables de Temperatura y Precipitación en base a los datos históricos observados en las estaciones climatológicas consideradas en el estudio y las proyecciones realizadas en los próximos 30 años para el

estado de Durango; posteriormente se presentan los resultados de las anomalías en cuanto a la información generada. Por otro lado, se realiza el mismo procedimiento para los rendimientos de Maíz que se siembran en condiciones de temporal en el estado y los rendimientos estimados en el modelo de cultivo para el mismo periodo de modelación.

5.2.6.1 Temperatura máxima

A lo largo del estado de Durango se identifican dos regiones principales, la que corresponde a la parte de la Sierra y la que se conoce como la parte de los valles que se extiende hacia el Bolsón. En la actualidad, en el estado de Durango la temperatura máxima media anual oscila alrededor de los 26.3 °C, en la regionalización proyectada el escenario arrojó una temperatura de 27.4 °C para los próximos 30 años, por lo cual dicha temperatura se espera incremente 1.1 °C respecto a las condiciones actuales. En forma general, se pueden apreciar similitudes entre los mapas que representan la temperatura observada y la proyectada, aunque el segundo mapa muestra una serie de incrementos los cuales se pueden denotar por los rangos que se presentan (Figura 5.2.6). Sin embargo, una de las regiones donde se presenta un notable incremento de temperatura es en la parte que se conoce como los Valles. Sin embargo, para identificar cuáles son las áreas de impacto respecto a esta variable se presenta el mapa de anomalía climática en la Figura 5.2.7.

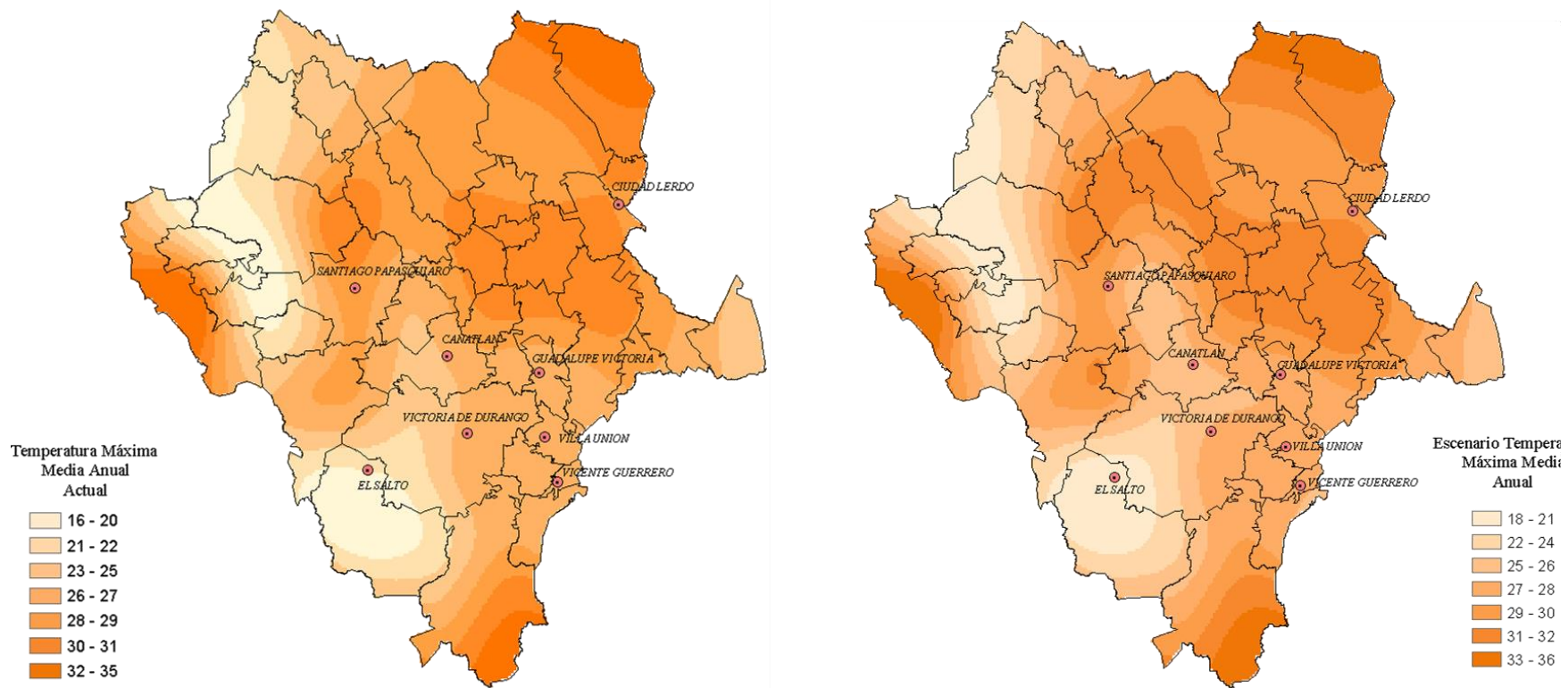


Figure 5.2.6 Mapas de distribución de la temperatura máxima media anual en condiciones actuales y proyectada para los próximos 30 años.

La literatura e incluso los informes que realiza el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático a escala global sugieren una tendencia de aumento de temperatura, lo que coincide con los resultados anteriores; sin embargo, en el estado de Durango dos estaciones climatológicas no aumentaron su temperatura, sino que la disminuyeron, tal es el caso de la estación de Charco Verde en el municipio de Durango y Chinacates en el municipio de Santiago Papasquiaro, con 0.6 °C y 0.3 °C de disminución, respectivamente.

Lo que demuestra la variabilidad de las proyecciones que se pueden presentar en una misma región, esto debido a que en el municipio de Durango resultaron otras tres estaciones, pero con un incremento de 1.2 °C, asimismo sucede con el municipio de Santiago Papasquiaro en donde se localizaron otras dos estaciones que mantuvieron un incremento de 0.9 °. Para ver los valores de forma más puntual, referirse al Anexo 5.2.1.

5.2.6.2 Temperatura mínima

En lo que se refiere a la temperatura mínima promedio anual, el estado se mantiene cercano a los 8.9 °C; y el escenario producido arrojó una temperatura promedio de 9.2 °C, por cual en promedio se espera que la temperatura mínima incremente 0.3 °C.

Los mapas de la Figura 5.2.8 muestran la distribución espacial de la temperatura mínima media actual y el escenario producido. A simple vista los mapas no tienen diferencias notorias en cuanto a la distribución espacial de la temperatura mínima a lo largo del estado, esto debido a que las variaciones son en gran medida en valores que oscilan en los 0.4 °C en promedio, en el entendido de que en términos de Cambio Climático, este incremento es considerable por los impactos que pudiera tener en el estado.

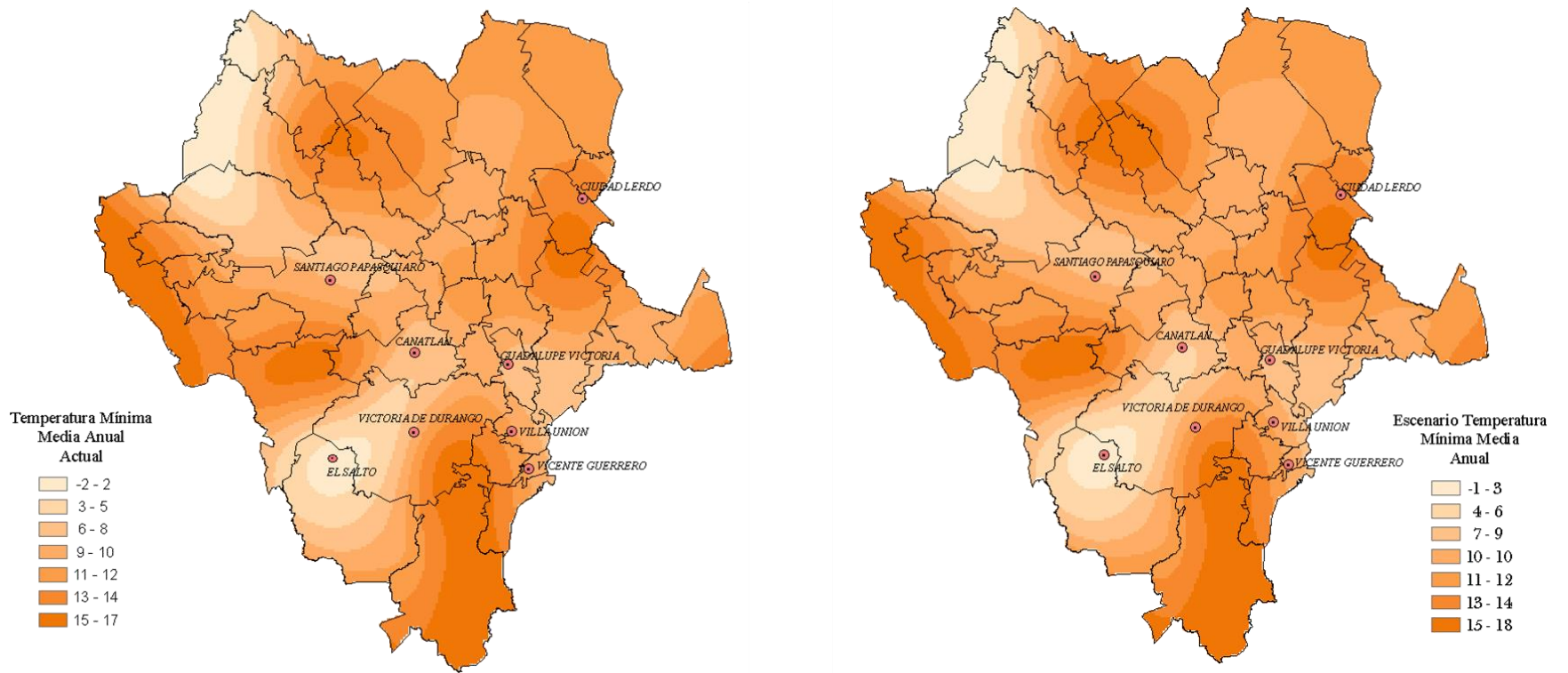


Figura 5.2.8 Mapas de distribución de la temperatura mínima media anual en condiciones actuales y proyectada para los próximos 30 años

Anomalía climática de la variable temperatura mínima

Como se mencionó anteriormente, para poder apreciar mejor los incrementos o decrementos respecto a la temperatura mínima, se obtuvo un tercer mapa en el cual se puede tener una mejor visualización sobre el comportamiento de esta variable. En la parte norte del estado es en donde se presentan aumentos de temperatura, en la cual la estación que presentó el valor más alto fue la estación de El Palmito en el municipio de Indé, la cual tuvo un aumento de 1 °C. A su vez, dos estaciones disminuyeron su promedio, tal es el caso de la estación Cinco de Mayo en San Pedro de Gallo, la cual disminuyó 0.1 °C y la estación El Pueblito con una disminución de 0.2 °C en el centro del estado (Figura 5.2.9).

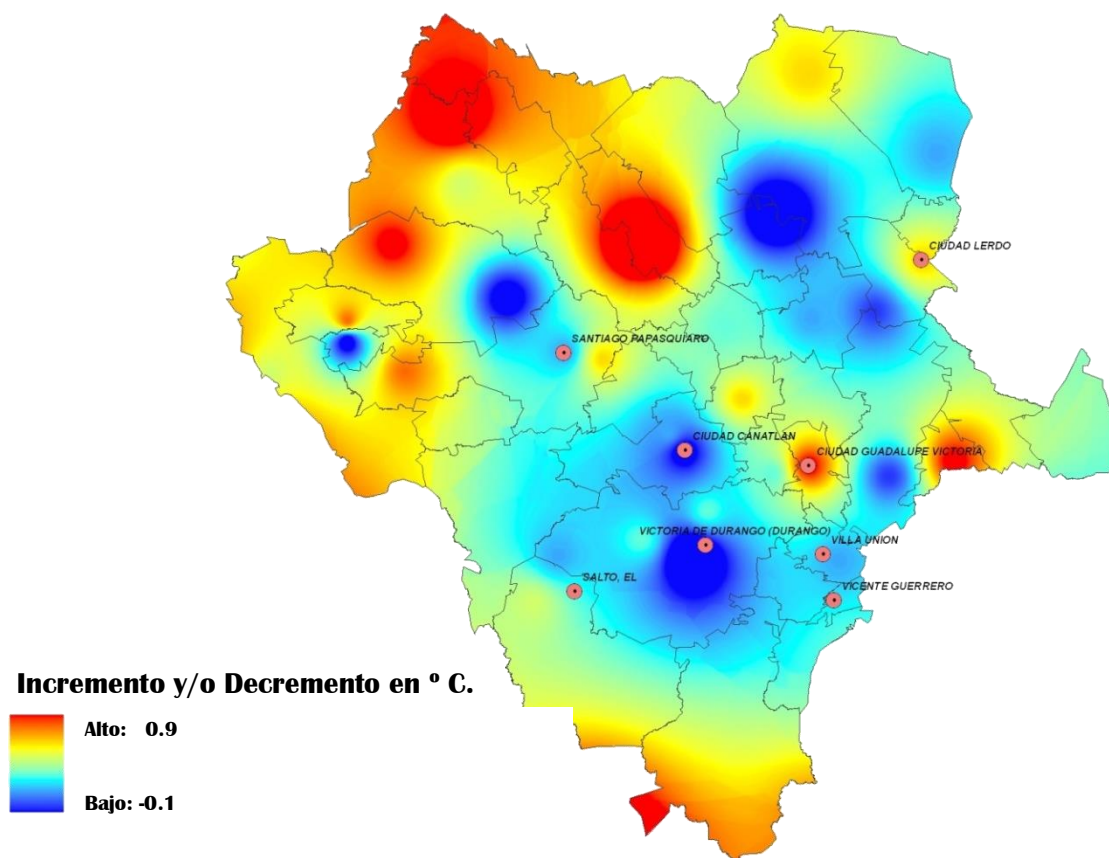


Figura 5.2.9 Mapa de anomalía climática para la variable temperatura mínima

Por otro lado, se presentaron estaciones en las cuales la temperatura no tuvo incrementos o decrementos, ya que se mantuvieron con el mismo valor. Algo que se debe de mencionar, es que en la etapa de generación de escenarios en las salidas con el modelo estadístico de reducción de escala, en los meses correspondientes al periodo invernal la temperatura presentó una disminución en el escenario respecto a las condiciones actuales, y los incrementos comenzaban en el ciclo primavera-verano. Es decir, aunque en promedio anual la temperatura no refleja cambios a primera vista, se espera que el periodo invernal en la mayoría de los sitios de estudio, sea más frío que en las condiciones actuales.

Los experimentos con modelos muestran que, incluso si se mantienen constantes todos los agentes de forzamiento radiativo en los niveles del año 2000, se produciría otra tendencia al calentamiento en los próximos dos decenios a un ritmo de 0.1° C por decenio, debido principalmente a la lenta respuesta de los océanos. Podría esperarse casi el doble de calentamiento (0.2 °C por decenio) si las emisiones se encuentran dentro de la gama de variedad de los escenarios del informe especial sobre emisión de escenarios del IPCC (IPCC, 2000; IPCC 2007) Para ver los valores de forma más puntual, referirse al Anexo 5.2.2.

5.2.6.3 Precipitación

A escala global, las observaciones realizadas muestran que en la actualidad ocurren cambios en la cantidad, intensidad, frecuencia, duración y tipo de precipitación (IPCC, 2007). En lo que respecta a la situación estatal, la región denominada de los Valles hacia el Bolsón la precipitación promedio anual oscila de 200 a 400 mm mientras que en la parte de sierra la precipitación es de 800 mm. En los siguientes mapas se puede distinguir claramente cuáles son las áreas de mayor o menor impacto respecto a la precipitación (Figura 5.2.10). En forma general se espera un incremento en la mayoría de las estaciones que en promedio oscila entre los 177 mm; sin embargo se presenta una variabilidad muy marcada entre estaciones.

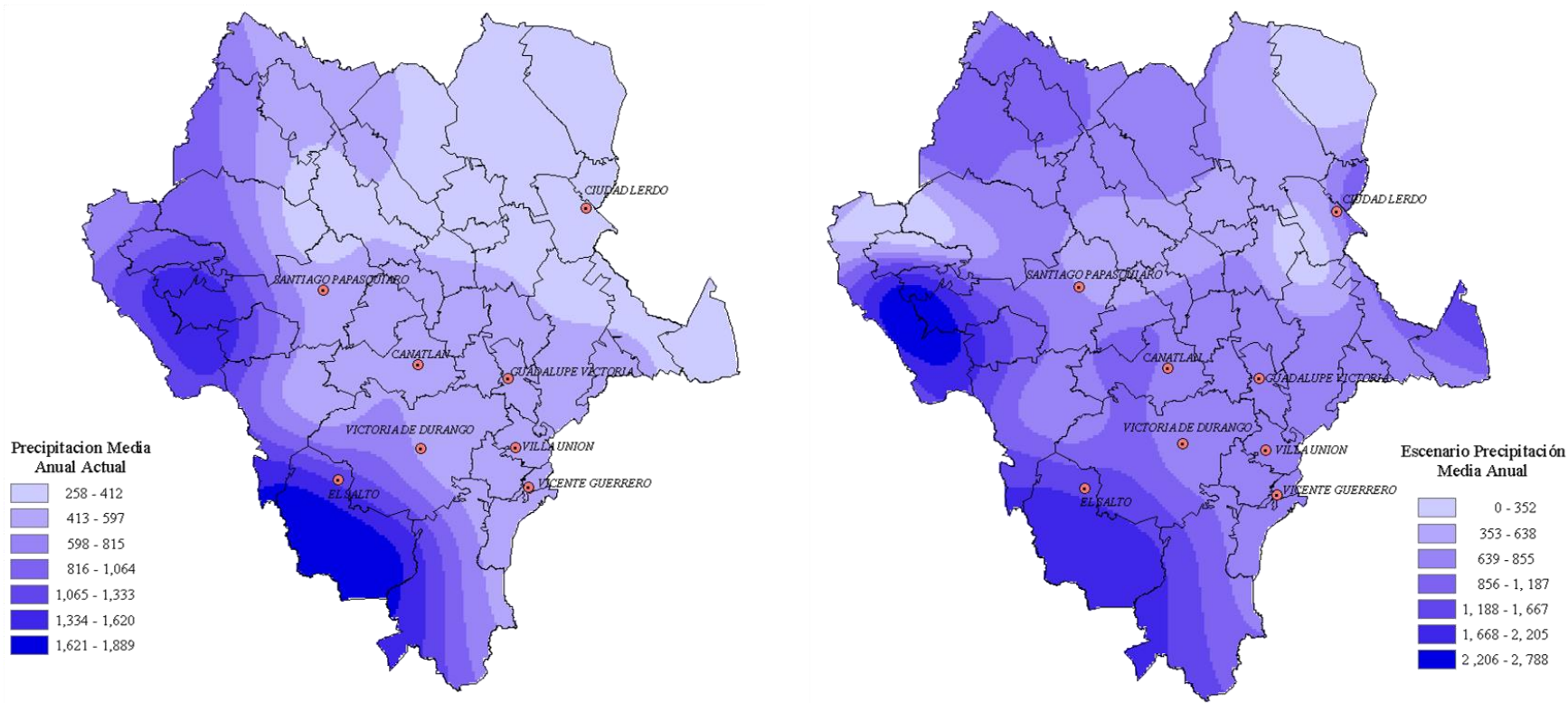


Figura 5.2.10 Mapas de distribución de la precipitación media anual en condición actual y proyectada para los próximos 30 años.

Como se puede apreciar en los mapas anteriores, la parte que corresponde a la parte de la sierra se incrementa significativamente con respecto a lo observado, así como la región denominada los Valles. En términos generales se espera que los sitios con una precipitación baja se espera que mejore su condición de aridez, como lo es la parte noreste del estado; sin embargo, las zonas consideradas como lluviosas también incrementan su promedio anual, lo que nos sugiere que no porque se espera que haya más precipitación significa que la situación mejore, ya que se podrían presentar cuestiones negativas como inundaciones, encharcamientos, erosión hídrica, entre otros factores.

Anomalía climática de la variable precipitación

La mayoría de las estaciones climatológicas se espera incrementen en promedio 177 mm, en su media anual de precipitación, sin embargo; así como en la variable temperatura algunas estaciones disminuyeron su promedio, también en la variable precipitación ciertas estaciones presentaron este resultado. Por ejemplo, en la parte noroeste del estado, en las que se encuentran El Tarahumar (Tepehuanes) y Topia (Topia), se espera disminuyan en promedio de 240 mm; en la parte noreste del estado solo la estación climatológica de Cañón de Fernández registra una precipitación de 310 mm, presentó una disminución de 180 mm, lo cual se podría convertir en una situación crítica por la disminución en su promedio anual (Figura 5.2.11).

En la parte sur-suroeste del estado, se presentan los incrementos más significativos, se espera que las estaciones que comprenden los municipios de Santiago Papasquiaro, Tamazula, Canelas, Canatlán y Durango sean los lugares con mayor incremento en el promedio anual respecto a la precipitación. Estos incrementos en la precipitación, coinciden con lo que se espera suceda en muchas partes del mundo.

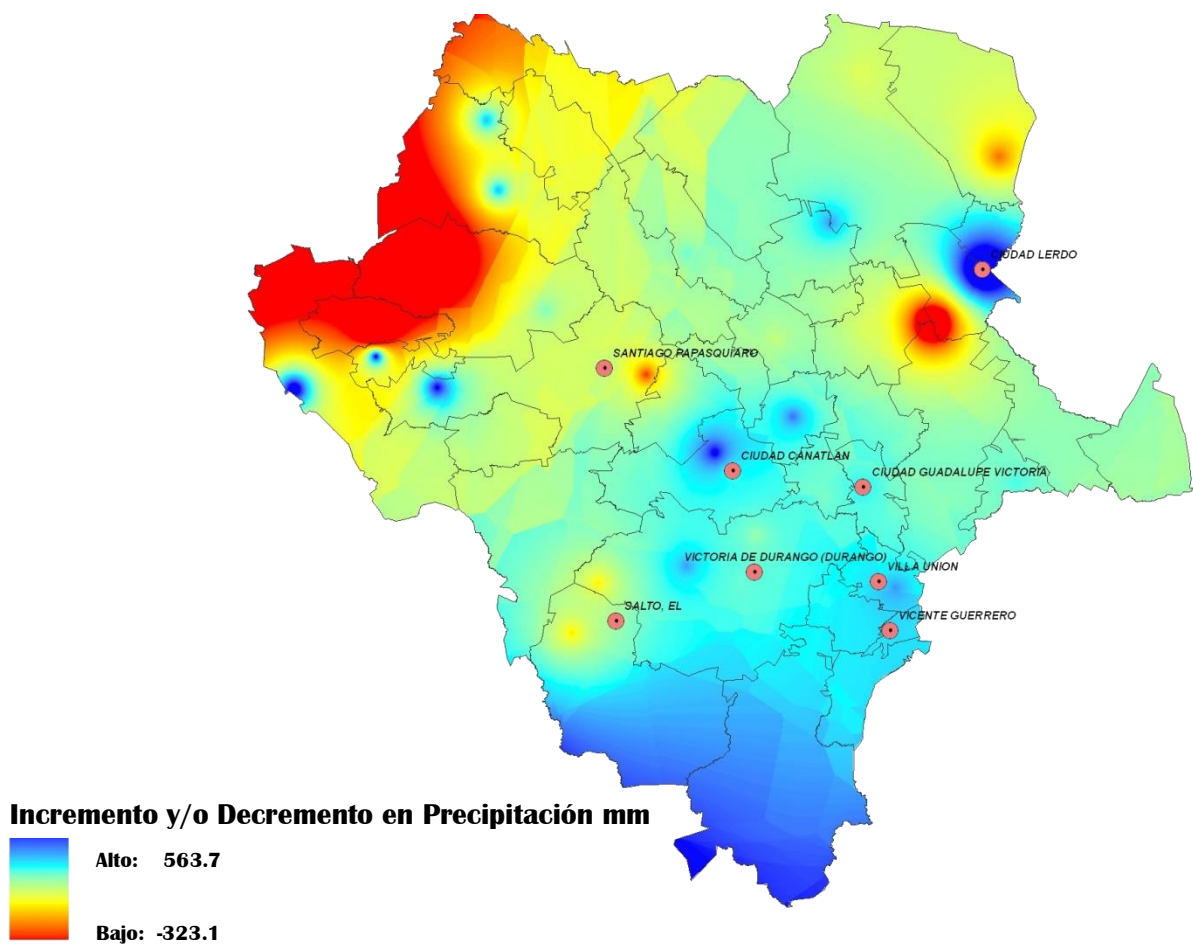


Figura 5.2.11 Mapa de anomalía climática para la variable precipitación

En algunos lugares se han observado tendencias pronunciadas a largo plazo desde 1900 a 2005 en cuanto a la precipitación: significativamente más húmedo en las zonas orientales de América del Norte y del Sur, Europa septentrional, Asia septentrional y central, pero más seco en el Sahel, África meridional, el Mediterráneo y Asia meridional. Hay más precipitación en forma de lluvia que como nieve en las regiones septentrionales. Se han observado amplios incrementos en precipitaciones intensas hasta en lugares donde las cantidades totales han disminuido. Estos cambios se asocian al incremento del vapor de agua en la atmósfera debido al calentamiento de los océanos mundiales, sobre todo en las latitudes más bajas. También se han experimentado incrementos en algunas regiones respecto de la ocurrencia de sequías e inundaciones (IPCC, 2007).

Otros estudios, sugieren incrementos en la precipitación en latitudes altas y secas en las regiones semi-áridas en latitudes más bajas, con cambios estacionales en varias regiones, y se espera que sean alrededor de 5 a 10 % por cada grado de calentamiento a nivel global. Sin embargo, los patrones de cambio de precipitación muestran una variabilidad mucho mayor a través de los modelos que los patrones de temperatura. El patrón básico a gran escala y la magnitud de las respuestas de la precipitación en los trópicos, subtropicos, regiones de latitudes medias y de latitudes altas se puede entender en gran medida como resultado del aumento de vapor de agua en la atmósfera, que son ampliamente consistentes con las tendencias observadas a través de modelos (The National Academies, 2010).

La precipitación asociada con tormentas en latitudes medias también se espera que se incrementen. En algunas zonas, especialmente en las zonas de transición entre las zonas más húmedas y las más secas, el desacuerdo entre los modelos es más amplio (The National Academies, 2010). En México estudios sobre cuencas hidrológicas en el centro de México sugieren incrementos en la temperatura y precipitación para los próximos 50 años (Maderrey y Jiménez, 2000). Para ver los valores de forma más puntual, referirse al Anexo 5.2.3.

5.2.7 Rendimiento de Maíz

El Maíz se cultiva prácticamente en todas las condiciones ecológicas de las distintas regiones de México. Es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, como del industrial, político y social. El consumo nacional de Maíz en México se incrementó durante el periodo 2005-2008.

En 2008 se llegó a un máximo histórico de consumo de 32.6 millones de toneladas, de las que México importó 7.4 millones provenientes de los Estados Unidos de América. La producción generada en el ciclo Primavera Verano representa el 78.5% del total, en tanto que la obtenida en el ciclo Otoño Invierno se produce el 21.5% restante (Miramontes, 2007; CEVAG, 2005).

En el estado de Durango, el Maíz es una fuente de ingresos importante para el agricultor, en los últimos 10 años en promedio se sembraron 166,459 ha de secano, con rendimiento promedio de 866 kg/ha y una producción de 125,598 t (CEVAG, 2005). De los municipios que tienen el rendimiento mayor al promedio estatal se encuentra Guadalupe Victoria con 1.32 t/ha y los municipios de San Pedro del Gallo, Rodeo y Nazas, con un promedio de 1.30 t/ha. Solo dos municipios presentan los rendimientos muy bajos, que corresponden a los municipios de Guanaceví y de Canatlán con 0.46 y 0.69 t/ha, respectivamente.

Los mapas de la Figura 5.2.12 muestran la distribución espacial de los rendimientos de Maíz en condiciones actuales en el estado y los que se esperan para los próximos 30 años en el contexto del Cambio Climático. Los rendimientos proyectados se basan en el modelo de circulación general canadiense CGCM1 con el escenario IS92a del IPCC, donde se puede identificar que las áreas con mayor producción son las partes bajas, pero en el escenario estimado se presenta un gradiente hacia las partes altas.

Se puede notar que las zonas del centro y norte del estado mejoren su aptitud en cuanto a rendimientos de Maíz se refiere, los municipios de Guanaceví y Canatlán que eran los municipios que presentaban los rendimientos bajos, ahora se convierten en los sitios, junto con Durango y Canelas, como los lugares que se espera tengan un mejor rendimiento debido a que sus incrementos oscilan entre las tres a cuatro t/ha. Solo Cuencamé y Tlahualilo son los lugares en los que se espera el rendimiento aumente de 100 kg/ha hasta una t/ha.

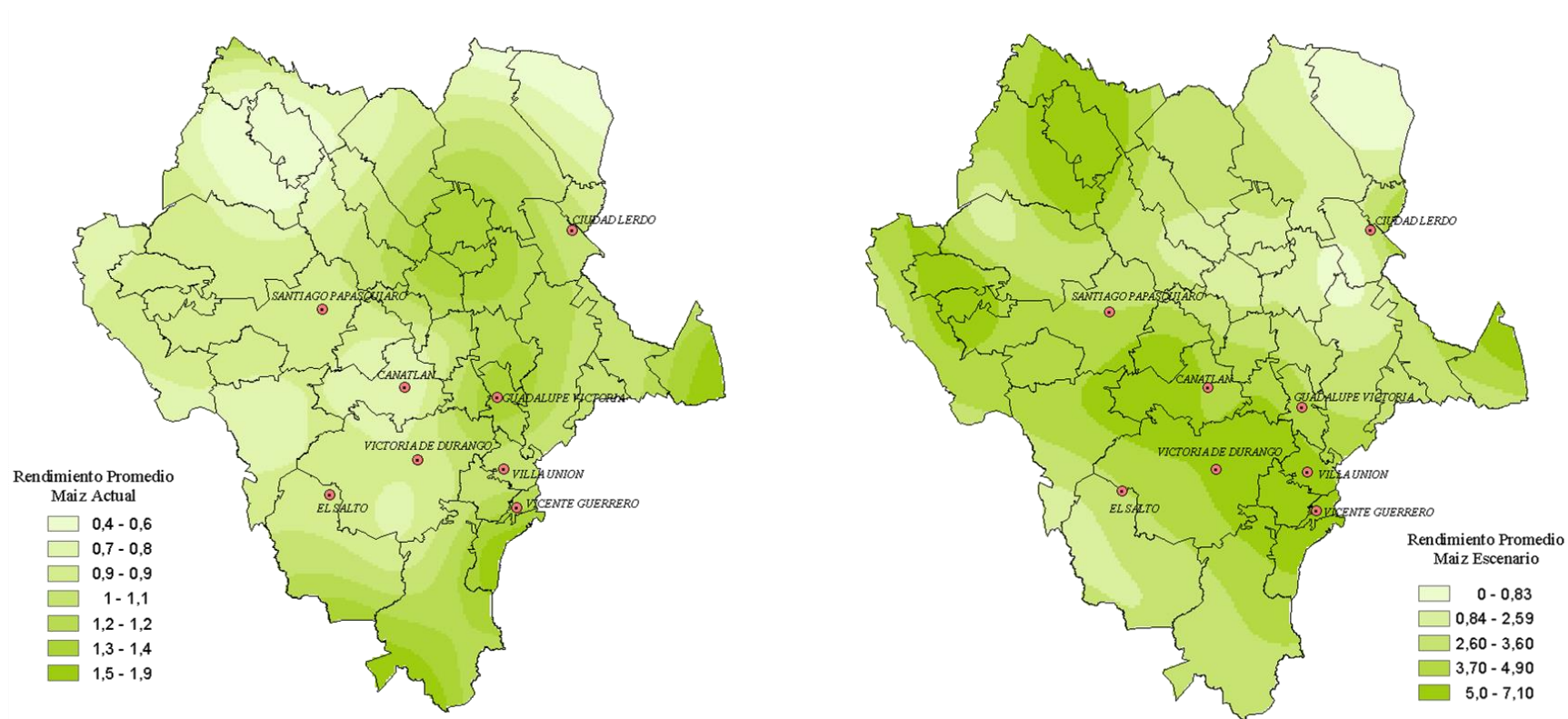


Figura 5.2.12 Mapas de distribución de los rendimientos de Maíz en condición actual y proyectada para los próximos 30 años.

Anomalía climática de la variable rendimiento

El mapa de la Figura 5.2.13, con la distribución espacial de los rendimientos muestra claramente como se da una conversión de las áreas en las que se tenían los menores rendimientos y que se convierten ahora en las que potencialmente se esperarían los mejores rendimientos. Es decir, las partes altas o correspondientes a la sierra son las que se espera sean las mejores para producir Maíz en condiciones de temporal.

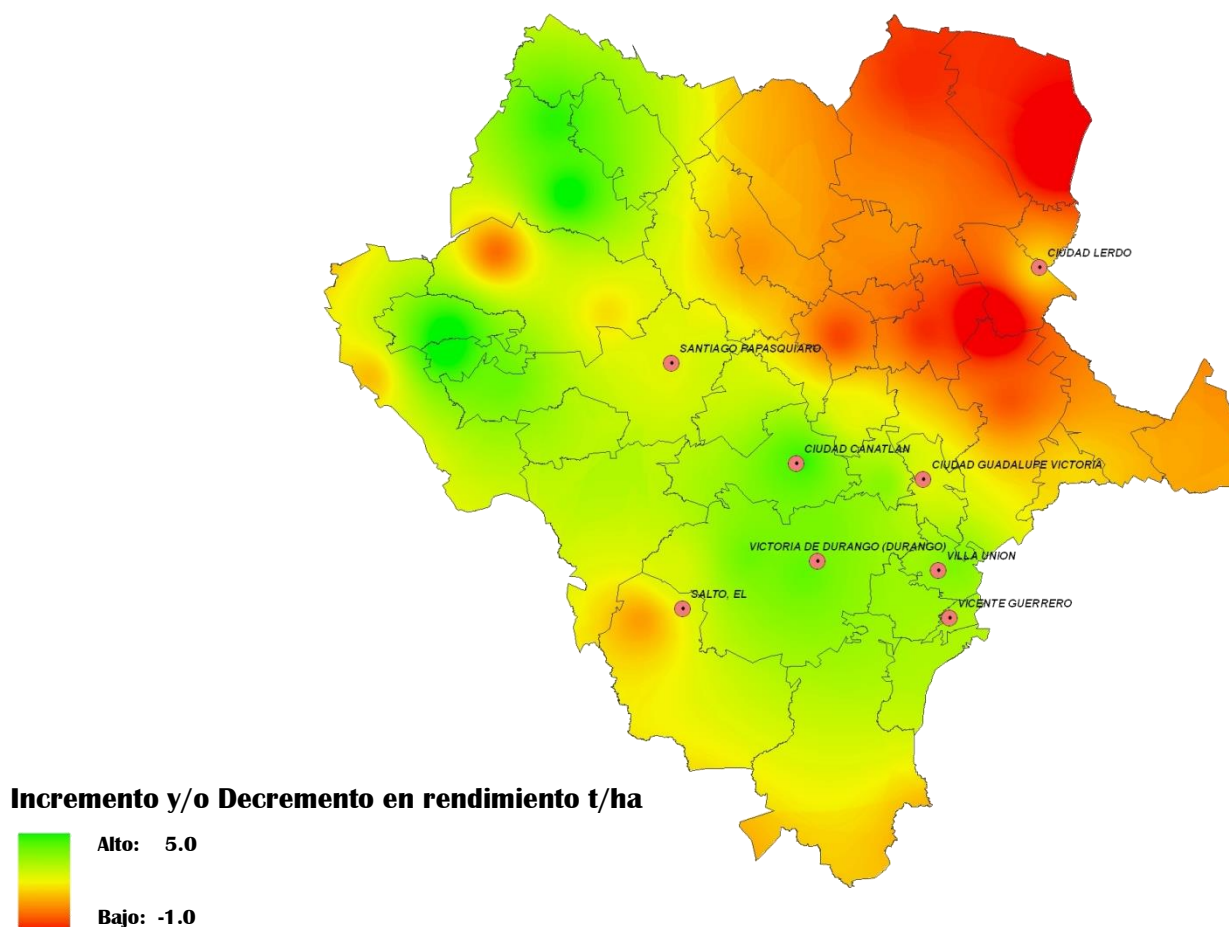


Figura 5.2.13 Mapa de anomalía climática para la variable rendimiento

Sin embargo, no quiere decir que en la actualidad, el hecho de que no existan rendimientos altos en las partes altas sea porque no son potencialmente aptas para el cultivo del Maíz. Esto puede ser resultado de ciertos factores: 1) que la población siembre otros cultivos y no necesariamente Maíz y 2) que se dediquen a otras actividades como la

ganadería y/o la actividad forestal, y la cuestión agrícola este en términos secundarios. Otro factor que cabe mencionar en este estudio es que las variables sociales, económicas y tecnológicas no están siendo consideradas, por lo que únicamente se hace referencia a que los resultados obtenidos están en el supuesto de que están afectados por el Cambio Climático. Para ver los valores de forma más puntual referirse al Anexo 5.2.4, en el Anexo 5.2.5 se enlistan los mapas de temperatura, precipitación y rendimientos en condiciones actuales y bajo escenario de Cambio Climático, no así los mapas de las anomalías, los cuales presentan un formato con coordenadas geográficas.

5.2.7 Conclusiones de vulnerabilidad del Maíz

Los Modelos de Circulación General (MCG) proveen simulaciones razonables del clima en variables a escala global; sin embargo, son menos precisos en predecir las variables a escala local. Por ello, el desarrollo de herramientas que ayuden a tener un mejor entendimiento del Cambio Climático nos permitirá tener una mejor perspectiva de estos cambios que están sucediendo a escala global, y que sin duda tendrán un impacto significativo a escala local y/o regional, y nos puedan permitir discernir dichas situaciones y en su caso, tomar las mejores decisiones respecto a un evento determinado.

Los resultados de la simulación de rendimientos para el cultivo de Maíz en condiciones de temporal en el estado de Durango, muestran cambios en cuanto al potencial productivo asumiendo condiciones de Cambio Climático. Para la parte noreste del estado, denominada los Valles, es en donde se esperaría que los rendimientos disminuyeran a razón de 0.10 a una t/ha respecto al promedio estatal el cual oscila entre 0.800 t/ha, dentro de los municipios que presentan disminución se encuentran Cuencamé y Tlahualilo.

Referente a la parte sur-sureste del estado, los resultados arrojan un incremento en el rendimiento que oscila de una a dos t/ha, lo que indica que esta parte del estado tendría impactos positivos de producción. Cabe mencionar que los municipios de Durango y Canatlán, son los municipios que presentan un considerable aumento que oscila de los tres a cuatro t/ha, lo que indica que son áreas con potencial de incrementar la producción. Respecto a la parte oeste del estado presenta la misma tendencia de incrementar los

rendimientos, los municipios viables de aumentar la productividad fueron Topia y Canelas, los cuales su resultado osciló de cuatro a cinco t/ha.

En lo que respecta a la parte noroeste de estado, existe un incremento en el rendimiento que oscila de dos a cuatro t/ha, donde el municipio con mejor posibilidad de mejora es Guanaceví. Como se puede apreciar, la región conocida como de la Sierra, arroja los valores positivos de producción con respecto a la parte de los valles, lo que sin duda está en función de las condiciones agroclimáticas del estado. Sin embargo, este resultado influirá perjudicialmente en la región a otros ecosistemas pues proyecta una condición adecuada de la precipitación apta para agricultura de temporal, pero inadecuada para los sistemas nativos pues disminuye la media histórica, representando estrés hídrico.

La creciente necesidad de realizar estudios a nivel local sugiere evaluar las herramientas disponibles para poder llevar a cabo estudios de impacto, el presente estudio solo sugiere un escenario en base a ciertas condiciones, por ello la urgencia de aplicar mas metodologías que permitan obtener resultados que sean objeto de comparación. Finalmente, se acepta que con todas las vicisitudes e incertidumbres de los modelos utilizados, estos siguen siendo la mejor herramienta para evaluar los posibles efectos de un fenómeno determinado.

5.3 Evaluación de la Vulnerabilidad del Frijol de Temporal del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático



5.3.1 Resumen de la vulnerabilidad del Frijol

El estado de Durango ocupa el segundo lugar nacional como productor de Frijol, sin embargo los rendimientos unitarios obtenidos bajo condiciones de temporal se han mantenido históricamente en niveles bajos. Tal situación obedece a la elevada vulnerabilidad del cultivo a las condiciones climáticas y edáficas que prevalecen en el estado. El presente estudio pretende realizar un análisis de la situación histórica del cultivo en el periodo 2003–2010 y plantea escenarios climáticos a 30 años, particularmente el escenario A2, considerando dos épocas de siembra. Para la elaboración de los escenarios se realizó la simulación mediante el modelo “Erosion Productivity Impact Calculator” (EPIC, por sus siglas en inglés). Las bases de datos utilizadas se tomaron del SIAP–2010 y 2011. Los resultados muestran incrementos importantes bajo un escenario de Cambio Climático, en los rendimientos unitarios en casi la totalidad de los municipios estatales. Esto se debe a que tanto la precipitación como la temperatura aumentarán a rangos que favorecerán la producción del cultivo en condiciones de temporal. Bajo un escenario de Cambio Climático, a 30 años para la siembra en junio, se observa un incremento prácticamente en la totalidad de los municipios con rendimientos de 1.0 hasta 2.3 t/ha, presentando Indé el mayor rendimiento de 1.3 t/ha. El escenario con fecha de siembra para el mes Julio no presenta diferencias importantes en comparación con la fecha de siembra de Junio, mostrando casi las mismas condiciones para todos los municipios. En este escenario, Indé es el municipio que presenta una tendencia a un rendimiento superior al de los demás municipios, en julio como fecha de siembra muestra un incremento de 0.2 t t/ha, en relación a la que presentó para el mes de Junio (1.5 t/ha). De manera general se observa un excelente escenario para el cultivo de Frijol de temporal para casi la totalidad de los municipios del estado, sin embargo esto dependerá de la distribución de la precipitación, la manera en que se presenten las temperaturas máximas y mínimas, así como de posibles fenómenos atmosféricos extremos.

5.3.2 Introducción de la vulnerabilidad del Frijol

La actividad productiva del Frijol, constituye una de las más relevantes del estado debido a que es fuente importante de empleo e ingreso de un amplio sector de la población rural. Como producto agrícola de primera importancia en el Estado, el Frijol es el cultivo con mayor superficie (224,876 ha sembradas en el 2009; SIAP, 2011) además de ser la principal fuente de proteínas en la alimentación de los estratos sociales de bajos ingresos de la ciudad y del campo.

La productividad del cultivo del Frijol de temporal en el Estado de Durango, está altamente limitada por factores abióticos como son la precipitación irregular y escasa y la presencia de heladas tempranas que atacan el cultivo en su etapa de madurez. Otros factores limitantes de la productividad del Frijol, son los bióticos, entre los que se encuentran las plagas del suelo y follaje, enfermedades y malezas. Dentro del aspecto socioeconómico las condiciones limitantes de producción inciden en la baja utilización de insumos tecnológicos como maquinaria agrícola, uso de agroquímicos y de semilla certificada.

Bajo un escenario de Cambio Climático, las inundaciones, sequías, huracanes y tormentas que se presentarán en el país afectarán fuertemente los cultivos, principalmente de los agricultores de subsistencia, e incluso provocarán la pérdida total de los mismos en determinadas regiones del país. De esta manera, dados los escenarios de clima para México, resulta urgente buscar alternativas para que la agricultura pueda adaptarse a las nuevas condiciones. La ciencia y la tecnología juegan un papel importante en el desarrollo de métodos alternativos de producción agrícola y pueden ser usados como medidas de adaptación al Cambio Climático (Ibarrarán y Rodríguez, 2007).

La vulnerabilidad que presenta el estado ante los efectos del Cambio Climático es alta. Las condiciones climáticas que se están presentando a finales del año 2011, prevén una disminución importante en los cultivos de temporal, principalmente en Frijol. Esto ha ocasionado que gran parte de la superficie que normalmente se destina para este cultivo permanezca ociosa o sea utilizada para la producción de Avena de temporal debido a la presencia tardía e insuficiente de la precipitación.

Actualmente el estado de Durango se considera el segundo productor de Frijol de temporal, después del estado de Zacatecas, debido principalmente a las grandes superficies, por ejemplo en el 2009 se sembraron 224,876 ha. Sin embargo, los rendimientos por unidad de superficie son demasiado bajos en ambos estados (400 – 500 kg/ha). Esta situación ha prevalecido por un largo periodo de años debido a principalmente a la inestabilidad climática, sobre todo a lo irregular de la precipitación y presencia de heladas tempranas, además del empobrecimiento gradual de los suelos debido al monocultivo y a la falta de prácticas de conservación.

El presente documento muestra un análisis de la situación histórica y plantea escenarios climáticos a 30 años, particularmente el escenario A2, sobre las principales variables que inciden en la producción de Frijol de temporal, para plantear medidas de adaptación y mitigación a corto, mediano y largo plazo factibles de aplicarse en el ámbito estatal, con el objetivo, al menos de mantener los estándares de producción en algunas regiones del estado o de su probable incremento en otras.

5.3.3 Marco Teórico

5.3.3.1 Importancia de la agricultura

En los albores del nuevo milenio 2,570 millones de personas dependen de la agricultura, la caza, la pesca o la silvicultura para su subsistencia; incluidas las que se dedican activamente a esas tareas y sus familiares a cargo sin trabajo y representan el 42% de la humanidad, consecuentemente la agricultura impulsa la economía de la mayoría de los países en desarrollo. Históricamente, muy pocos países han experimentado un rápido crecimiento económico y una reducción de la pobreza que no hayan estado precedidos o acompañados del crecimiento agrícola, y para más de 850 millones de personas desnutridas, la mayoría de ellas en las zonas rurales, constituye un medio para salir del hambre. Sólo cuentan con un acceso seguro a los alimentos si los producen ellos mismos o tienen dinero para comprarlos (FAO, 2005). En México de las 112.3 millones de

hectáreas destinada a la producción agropecuaria y forestal, 21,855,443 ha se dedican exclusivamente a la actividad agrícola. En Durango la superficie agrícola es de 708,721 ha, mismas que representan el 3.24% de la superficie nacional.

5.3.3.2 Importancia del cultivo del Frijol

El cultivo del Frijol ocupa un lugar importante en la economía agrícola de México, tanto por la superficie que se le destina, como por la derrama económica que genera. El Frijol conjuntamente con el Maíz constituyen la dieta básica del pueblo mexicano y en consecuencia son los productos de mayor importancia socioeconómica (COVECA, 2011).

El consumo de Frijol no es tan importante como el trigo, el Maíz o el arroz, más bien se trata de un producto cuyo consumo se localiza en determinados países de América y África. Sin embargo, la importancia que tiene la población de origen latino en los Estados Unidos de América, ha hecho que en ese país se consuman crecientes volúmenes de esta leguminosa. Además, una parte de los volúmenes que allí se producen se destinan a cubrir el déficit de algunos países consumidores latinoamericanos (SIAP, 2007).

Considerando la producción acumulada de 2000-2010, los principales países productores de Frijol (Tabla 5.3.1) en el mundo son: Brasil con 16%, seguido de la India con 15.9%, Myanmar con 10.5%, China con 8.9%, ocupando el quinto lugar se encuentra México con 5.8%, y en sexto lugar los Estados Unidos con 5.6% (SE, 2012). El Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes, que sirve de alimento a la población de muchos países. El crecimiento de la producción mundial de Frijol se ha mantenido a una tasa media de crecimiento anual de 2.8% para el periodo de 2000-2010. En 2010, la producción mundial de Frijol se ubicó en 23.2 millones de toneladas (SE, 2012).

México es el quinto productor de Frijol en el mundo desde el año 2001, cuando superó a los Estados Unidos de América, con una producción promedio en el periodo, de 1.2 millones de toneladas y una participación porcentual del 7 por ciento. Lo anterior, a pesar de ser el tercer país en importancia respecto de la superficie cosechada, lo que es

ocasionado por los menores rendimientos en relación con otros países, ya que en este último rubro, se encuentra en el décimo lugar mundial (SIAP, 2007).

Tabla 5.3.1 Principales países productores de Frijol en el mundo, 2000-2010. Participación % con respecto a la producción mundial total

País	%	10 ⁶ toneladas
<i>Brasil</i>	16	35.28
<i>India</i>	15.9	35.06
<i>Myanmar</i>	10.5	23.15
<i>China</i>	8.9	19.62
<i>México</i>	5.8	12.79
<i>EUA</i>	5.6	12.35
<i>Tanzania</i>	3.4	7.50
<i>Uganda</i>	2.4	5.29
<i>Kenia</i>	2	4.41
<i>Indonesia</i>	1.6	3.53
<i>Otros</i>	27.9	61.52

EUA = Estados Unidos de América

5.3.3.3 El Frijol en el ámbito nacional

Actualmente, el papel de esta leguminosa sigue siendo fundamental en lo económico, porque presenta para la economía campesina una fuente importante de ocupación e ingreso, así como una garantía de seguridad alimentaria, vía autoconsumo; mientras que en la dieta representa, la principal y única fuente de proteínas para amplias capas de la población mexicana (SAGARPA 2010).

En Chihuahua los municipios que destacan en la producción de Frijol son Janos, Cuauhtémoc y Ascensión; en Durango, el de Guadalupe Victoria; y en Zacatecas: Sombrerete, Río Grande, Fresnillo, Juan Aldama, Miguel Auza y Francisco Murguía (SIAP, 2007).

Se considera que alrededor de 570,000 productores primarios se dedican a este cultivo siendo la segunda actividad en importancia después del Maíz, por otra parte, como generador de empleo es un factor importante en la economía del sector, ya que durante el

proceso de producción demanda un promedio de 35 jornales por hectárea y en esto el 71% del total de los integrantes de la familia participan, lo que constituye una forma de autoempleo (SAGARPA 2010).

En la zona norte de México y bajo condiciones de riego se cultivaron 33 mil 781 hectáreas que aportaron una cosecha de 47 mil 678 toneladas, para un rendimiento medio regional de 1.41 t/ha que resultó inferior a la media nacional que ha sido de 1.8 t/ha (COVECA, 2011).

Los bajos rendimientos unitarios obedecen a una serie de factores biológicos y meteorológicos que inciden fuertemente sobre el cultivo, entre los que destacan la sequía en sus diferentes modalidades; retraso de las lluvias de temporal, insuficiente precipitación pluvial y ataque de plagas. Aunado a lo anterior, los suelos de algunas de las regiones productoras son deficientes en nitrógeno y fósforo, elementos indispensables para el adecuado desarrollo y producción de Frijol (SIAP, 2007).

Estos factores, cobran una real importancia cuando consideramos que en los últimos años el 70% de la producción se obtiene de superficies de temporal. Esto aunado a las situaciones económicas, del mercado, de las políticas y programas en el campo y otras (SAGARPA, 2010).

5.3.3.4 El Frijol en el ámbito estatal

Durango es la segunda entidad con mayor participación del sector primario en su economía, esta actividad representa el 12.7% del producto interno bruto (PIB) del estado, y en ésta laboran el 18.5% de la población ocupada, de los cuales, la mitad, el 50.1% no ganan más de dos salarios mínimos (PED-Durango, 2011-2016).

La actividad productiva del Frijol, constituye una de las más relevantes del estado debido a que es fuente importante de empleo e ingreso de un amplio sector de la población rural. La fecha de siembra en temporal depende del inicio de la temporada de lluvias, mientras que en riego puede sembrarse cuando haya concluido el periodo de heladas.

De la superficie estatal agrícola que se cultiva de Frijol, el 99% es de temporal y el 1% de riego. El 30.3% de los productores (75,509) cuenta con 5 hectáreas o menos, el 42.7% superficies entre 5-10 ha y el 27% con predios mayores a 10 hectáreas (SAGARPA, 2004), ver Figura 5.3.1.

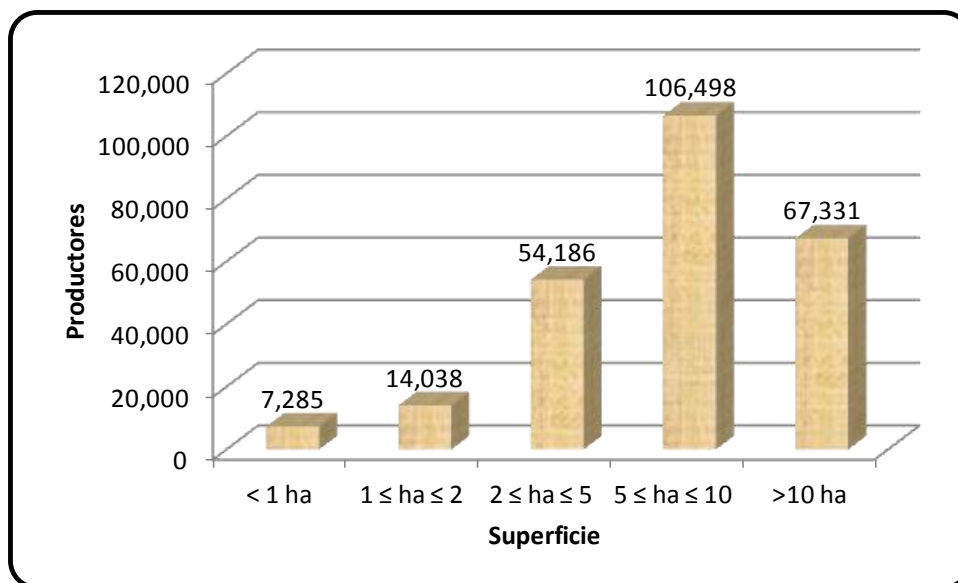


Figura 5.3.1 Distribución de la superficie sembrada de Frijol por productores
Fuente: SAGARPA, 2004

El principal municipio productor de Frijol del estado de Durango es Guadalupe Victoria con un total de 42,193 hectáreas de Frijol sembradas, una superficie cosechada de 40,293 hectáreas y un volumen de producción de 31,880 toneladas, de un total en el estado de: 224,879 hectáreas sembradas de Frijol, 205,683 hectáreas cosechadas y un volumen de producción de 138,801 toneladas. Siendo el volumen de producción del país de 1,041,369 toneladas en el año 2009 (INEGI, 2009).

La productividad del cultivo del Frijol de temporal en el Estado de Durango, está altamente limitada por factores abióticos como son la precipitación irregular y escasa y la presencia de heladas tempranas que atacan el cultivo en su etapa de madurez. Otros factores limitantes de la productividad del Frijol, son los bióticos, entre los que se encuentran las plagas del suelo y follaje, enfermedades y malezas. Dentro del aspecto socioeconómico las condiciones limitantes de producción inciden en la baja utilización de insumos

tecnológicos como maquinaria agrícola, uso de agroquímicos y de semilla certificada. Los principales problemas son: suelos mal manejados que no permiten aprovechar las lluvias torrenciales causando erosión y pérdida de nutrientes; materia orgánica y suelo en ocasiones superior a las 30 t/ha; baja densidad de plantas (surcos anchos), los cuales favorecen la pérdida de suelo y agua; y el uso de variedades criollas susceptibles a enfermedades (SAGARPA, 2004).

5.3.4 El calentamiento global

5.3.4.1 El efecto invernadero

El sector agropecuario, presenta una alta vulnerabilidad, la cual de manera sistemática ha visto una reducción en la productividad de los sistemas agropecuarios. Específicamente para México este fenómeno es de singular importancia, pues por un lado se encuentra en los primeros 20 países con mayores emisiones de estos gases y por otro se encuentra en las regiones más vulnerables a los impactos asociados al Cambio Climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas (Ordoñez y Mesera, 2001).

Las proyecciones climáticas indican que la acumulación sostenida de GEI en la tropósfera, como el metano (CH₄), modificará los patrones globales de temperatura, precipitación pluvial y variabilidad climática en las próximas décadas. Se estima que un incremento de 1 a 3°C durante la primera mitad del siglo XXI ocurrirá más rápido que cualquier otro incremento enfrentado por la humanidad desde el comienzo de la agricultura, hace alrededor de 10 mil años (McMichael y Beaglehole, 2000).

5.3.4.2 Sensibilidad al Cambio Climático

La sensibilidad al Cambio Climático se refiere al grado en que un sistema agrícola responde positiva o negativamente, a cambios en los patrones climáticos (Ojeda *et al.*, 2010). Los efectos potenciales directos del Cambio Climático en la agricultura se refleja en los cambios estacionales de temperatura y precipitación en las condiciones agroclimáticas

(Qaderi y Reid, 2009; Sivakumar *et al.*, 2005), lo cual altera las estaciones de crecimiento, así como los calendarios de siembra y cosecha de los cultivos; la disponibilidad de agua, y la aparición de poblaciones de plagas y enfermedades. La evapotranspiración, fotosíntesis y producción de biomasa se verían alteradas, así como la aptitud del suelo (Rosegrant *et al.*, 2008; Lichtfouse, 2009).

El agua desempeña un papel crucial en la producción regional y mundial de alimentos. Por una parte, más de un 80% de las tierras agrícolas del mundo depende de la lluvia; en esas regiones, la productividad de los cultivos depende únicamente de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (Bates *et al.*, 2008; Pimentel, 2009; Bruinsma, 2003). Por otra parte, la producción mundial de alimentos depende del agua, no sólo en forma de precipitación, sino también, fundamentalmente, en forma de recursos hídricos disponibles para el riego (Bates *et al.*, 2008).

Mientras que un déficit excesivo de agua se traduce en vulnerabilidad de la producción, un exceso de agua puede tener también efectos no deseados sobre la productividad de los cultivos, ya directamente (por ejemplo, afectando a las propiedades del suelo y dañando el crecimiento vegetal), ya indirectamente (por ejemplo, impidiendo o retrasando las necesarias labores agrícolas). Los episodios de precipitación intensa, la humedad excesiva del suelo y las crecidas interfieren en la producción de alimentos y en los medios de subsistencia rurales a nivel mundial (Rosenzweig *et al.*, 2002; FAO, 2003; Kurukulasuriya y Rosenthal, 2003).

En nuestro país, respecto a los efectos del fenómeno El Niño, particularmente en el régimen de lluvias, es claro que la disminución de la precipitación durante veranos de El Niño afecta el ciclo agrícola primavera - verano, fundamental para la producción agrícola. Las prácticas agrícolas de temporal en México son particularmente sensibles a cualquier alteración en la estación de lluvias, ya sea por retraso, por irregularidad o deficiencia persistente en las precipitaciones. Condiciones de sequía pueden provocar desde la pérdida de algunos cultivos, hasta hambrunas y migraciones en vastas regiones del país (Conde *et al.*, 2004).

La sequía asociada a El Niño tiene efectos diferentes dependiendo de la región considerada. Liverman (1990) encontró que en Puebla, los efectos de la sequía para el período de 1982 - 1983 fueron mayores para los productores con acceso a tecnologías agrícolas modernas y créditos, derivados del Plan Puebla (Peña y Ramírez, 1993), que para los productores que siguieron esquemas de agricultura tradicional y aún para los que no sembraron y emigraron temporalmente a las ciudades, debido a que los primeros, además de perder la cosecha, aumentaron sus deudas.

En 1998 se padeció un calor abrumador durante largos meses y este año fue uno de los más cálidos del siglo por efecto del fenómeno El Niño. Tanto en México como en otras regiones del planeta disminuyeron y se retrasaron las lluvias, lo que provocó una grave sequía que afectó a diferentes actividades productivas, entre ellas la agricultura, la ganadería y la pesca. En el 2005, que ha sido el más caliente de los últimos cien años, el retraso en las lluvias de verano resultó en una caída de más de 13% en la producción agrícola del país. El área de cultivos dañada fue de 669 mil hectáreas y los costos totales de la sequía ascendieron a cerca de 779 millones de pesos. El Cambio Climático no sólo afecta los volúmenes de producción, sino también su calidad (SEMARNAT, 2009a).

5.3.4.3 Estudios de vulnerabilidad

El conocimiento del clima del planeta y del Cambio Climático es fundamental para el análisis de la vulnerabilidad y para determinar estrategias de adaptación. La comparación entre las condiciones actuales y las que potencialmente se presentarían bajo un Cambio Climático permite la identificación y la cuantificación del grado de vulnerabilidad de los lugares donde se tendrían efectos adversos (por ejemplo, reducción en rendimientos agrícolas, o disminución del nivel de los cuerpos de agua).

Los estudios de vulnerabilidad son la base para definir acciones de adaptación y mitigación en regiones críticas detectadas por interrelaciones de sus componentes de vulnerabilidad (IMTA, 2010).

Son importantes los estudios de vulnerabilidad ya que es importante conocer los riesgos que se puedan presentar sobre todo en la agricultura. La producción agrícola presenta una fuerte exposición a fenómenos climáticos, ya que depende de los comportamientos de las variables climáticas. Al tener los cultivos rangos de tolerancia en algunos casos muy definidos, si se llegaran a sobrepasar podrían estar en riesgo la productividad de éstos (Monterroso *et. al.*, 2007).

5.3.4.4 Modelos de circulación general (MCG)

Para regionalizar los escenarios de Cambio Climático global generados por Modelos de Circulación General (MCG), se pueden establecer criterios basados en principios físicos que relacionen condiciones de gran escala con el clima regional. En forma simple, esto se hace mediante esquemas de interpolación lineal. Tal metodología ha sido empleada por la mayoría de los grupos involucrados en el programa del Estudio de país, impulsado por el U. S. Country Studies Program. Los escenarios actuales o base se construyen utilizando al menos 30 años de datos, para que sean representativos de las condiciones climáticas promedio (Magaña *et. al.*, 2010).

Probablemente el mayor reto en los estudios de regionalización de escenarios es la dificultad de generalizar los resultados obtenidos para una comunidad en una región o localidad específica, en un tiempo dado, hacia casos similares y/o regiones de mayores escalas espaciales y temporales. Puede decirse que el problema “inverso”, contraparte del anterior, se presenta cuando se utilizan modelos climáticos de gran escala para construir escenarios de Cambio Climático (cuyos resultados corresponden a regiones de más de 100 km²), y con ellos se quiere describir el posible variabilidad climática en una pequeña localidad. En este caso se pueden aplicar técnicas de reducción de escala (downscaling) para poder interpolar las salidas de los modelos más complejos con los que se cuenta en la actualidad, consiguiendo con esto una descripción de los elementos de gran escala que determinan las condiciones climáticas en una región. Esta descripción se expresa como una ecuación multivariada entre la variable climática regional que se quiere describir y las variables de mayor escala. Se supone, aunque no se puede comprobar, que la relación

descrita por dicha ecuación prevalecerá en el futuro, con lo que es posible proyectar los rangos de cambio de la variable local a futuro (Conde *et. al.*, 2000).

Características generales del MCG utilizados

En la etapa de selección de estaciones climatológicas, específicamente para el estudio de vulnerabilidad del Frijol, los escenarios climatológicos se realizaron de manera similar a lo descrito en la sección 5.1.5.5. Cabe destacar que los escenarios para el sector agrícola tienen la característica de considerar los promedios anualizados o estacionales de las variables climáticas, ya que dichos promedios están vinculados directamente con los rendimientos de producción del cultivo. De un total de 45 EM-SMN seleccionadas para el estudio de vulnerabilidad; 31 pertenecen al estado de Durango, seis a Sinaloa, tres a Zacatecas, dos a Chihuahua, dos a Nayarit y una a Coahuila.

Los escenarios climatológicos regionalizados fueron obtenidos haciendo uso del modelo Statistical Downscaling Model (SDSM) acoplado a la malla de gran resolución de los Modelos de Circulación General (MCGs), mediante técnicas de regresión lineal múltiple entre el clima a gran escala (los predictores) y el clima local (el predictando). Los datos de los predictores fueron obtenidos del modelo de circulación canadiense CGCM1 del Centro Canadiense de Modelación y de Análisis Climático⁵. La decisión de emplear el CGCM1, correspondió a los expertos del área, quienes consideraron a dicho modelo lo suficientemente robusto pues éste ya había sido probado en otros estudios similares; además, el modelo es de libre acceso.

5.3.5 Metodología

Durango es la segunda entidad con mayor participación del sector primario en su economía, esta actividad representa el 12.7% del PIB del Estado, y en ésta laboran el

⁵ <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi>

18.5% de la población ocupada, de los cuales, la mitad, el 50.1% no ganan más de dos salarios mínimos.

El sector agrícola se integra por 1,025 ejidos con poco más de 122 mil ejidatarios, la superficie que se siembra corresponde a 725 mil hectáreas, producto de la cual durante el 2010 se alcanzó una producción de poco más de 5 mil millones de pesos.

5.3.5.1 Principales ecosistemas

En el estado de Durango existen cuatro regiones diferentes: La región del Semidesierto, la región de los Valles, la región de la Sierra y la región de las Quebradas.

La región del Semidesierto se localiza en el noreste del estado y comprende los municipios de Hidalgo, Mapimí, Tlahualilo, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Nazas, Lerdo, Gómez Palacio, Cuencamé, Santa Clara, General Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe. La mayor parte del terreno es plano y su clima es seco; llueve muy poco, por eso no hay humedad, hace mucho calor en el verano (>41 °C) y mucho frío en el invierno (14 °C bajo cero, en altitudes >3000 msnm).

La región de los Valles se localiza en la parte central del estado y comprende los municipios de Nombre de Dios, Durango, Nuevo Ideal, Canatlán, Guadalupe Victoria, Pánuco de Coronado, Poanas, Súcil, Vicente Guerrero, Ocampo, San Bernardo, Indé, Coneto de Comonfort, El Oro, Rodeo, San Juan del Río y Peñón Blanco. Las tierras de los valles son planas y buenas para la agricultura. Muchas de esas tierras se riegan con las aguas de los ríos Nazas, Florido y Tunal, que pasan por esta zona. También existen varias presas y las lagunas de Santiaguillo, Guatimapé y Refugio Salcido.

La Región de la Sierra ocupa principalmente la parte alta occidental del estado de Durango. Se extiende desde el norte del municipio de Guanaceví hasta el sur del municipio del Mezquital. Comprende el total de los municipios de Guanaceví, Tepehuanes y parte de Santiago Papasquiaro, Topia, Canelas, Otáez, Tamazula, San Dimas, Pueblo Nuevo, Mezquital, Durango, Ocampo y San Bernardo. En la Sierra el relieve es

montañoso, durante el invierno hace mucho frío, hiela y con frecuencia cae nieve. También llueve mucho durante el verano.

La región de las Quebrada se encuentra en la parte baja occidental del estado de Durango, abarca una parte de los municipios de Mezquital, Pueblo Nuevo, San Dimas, Otáez, Santiago Papasquiaro, Tamazula, Topia, Canelas y Tepehuanes. El relieve de esta región presenta formas muy diferentes, teniendo profundas barrancas y acantilados muy altos.

En la región de los Valles, las ocupaciones de los habitantes de la región de los Valles son la agricultura, la ganadería, la fruticultura, la minería, la industria y el comercio. La producción agrícola más abundante es de Maíz, Frijol, chile, trigo, sorgo y alfalfa, principalmente en los municipios de Guadalupe Victoria y Poanas. También se cultivan frutas, como manzana y perón, en Canatlán, Nuevo Ideal y Guatimapé; nuez en Nazas y en San Juan del Río; y membrillo, chabacano y durazno en el Municipio de Nombre de Dios.

5.3.5.2 Elaboración de mapas de escenarios A2

Los mapas elaborados para escenarios son tres y corresponden al rendimiento histórico y escenarios para rendimientos obtenidos a 30 años para siembras que se realizan durante los meses de Junio y Julio. En los mapas se observa una distribución de la totalidad de los municipios del estado, donde a excepción de la parte sur y oeste, aparecen espacios en blanco lo que representa una ausencia de información debido a la falta de estaciones climáticas.

La nomenclatura de las leyendas en los mapas, no representan la misma escala en los tres mapas por lo cual se anexa la tabla con los valores obtenidos para facilitar la interpretación, ya que no se pudo realizar una reclasificación para homogenizar las leyendas.

5.3.5.3 Modelación del cultivo de Frijol

Se realizó la simulación para un período de 30 años, mediante el modelo “Erosión Productivity Impact Calculator” (EPIC, por sus siglas en inglés) contemplando las siguientes variables:

Datos climáticos: Generados bajo escenarios futuros mediante el modelo de circulación general CGCM1 y el modelo estadístico de reducción de escala (SDSM), asumiendo una concentración actual de 380 ppm de dióxido de carbono en la atmósfera para la calibración del modelo.

Datos de suelo: Que contemplan el pH el cual se estableció en 6.5, una profundidad de desarrollo de 30 cm con textura franca, las prácticas de cultivo que se establecieron para la simulación del cultivo contemplan un subsoleo, un barbecho, rastreo, siembra, fertilización y cosecha, se asumió una temperatura óptima de crecimiento para el cultivo de 25 °C.

Dosis de fertilización: Se utilizó la fórmula 30-50-00 la cual se realizó al momento de la siembra, asumiendo un ciclo vegetativo de 110 días.

Fechas de siembra: Se modelaron dos fechas de siembra para evaluar el impacto en el rendimiento, el cual varía en base a las la cantidad y distribución de la precipitación. La primera fecha de siembra fue en los primeros 15 días del mes de Junio, y la segunda fecha de siembra en los primeros 15 días del mes de Julio.

Interpolación de los rendimientos: se usó el método de spline, dentro del cual se usaron 29 EM-SMN de las cuales 21 son del estado de Durango, y con el fin de representar de mejor manera las variables que caracterizan el clima en todo el territorio se agregaron 2 de Chihuahua, 2 de Coahuila, 1 de Sinaloa, 2 de Nayarit y 1 de Zacatecas. Detalles de la selección de las EM-SMN pueden verse en la sección 3.2.2 de capítulo de Escenarios.

5.3.6 Resultados de la vulnerabilidad del Frijol

5.3.6.1 Anomalía de las variables climáticas

A continuación se presenta un resumen de las anomalías de las variables climáticas estudiadas, los detalles de los escenarios y mapas correspondientes pueden observarse en el estudio de *Evaluación de la Vulnerabilidad del Maíz de Temporal del estado de Durango bajo condiciones de Cambio Climático* desarrollado en la sección previa.

Respecto a la temperatura máxima (Tmax), en el noreste del estado es en donde se aprecia un incremento en cuanto a la distribución de la temperatura que comprende los valores por arriba de los 33 °C en promedio. En esta región las estaciones que elevaron su promedio anual de temperatura máxima, se encuentran los municipios de Cuencamé, Indé y Mapimí que resultaron con un aumento de 2.1, 2 y 1.7 °C respectivamente, junto con Tamazula que incrementó su temperatura promedio anual en 1.9 °C este localizado en la parte Oeste del Estado. En la parte Sur, correspondiente a los municipios del Mezquital, Pueblo Nuevo y Súchil, las temperaturas se mantienen casi homogéneas respecto a las condiciones actuales.

En relación a la temperatura mínima (Tmin), la parte norte del estado es en donde se presentan aumentos de temperatura, en la cual la estación que presentó el valor más alto fue la estación El Palmito en el municipio de Indé, la cual tuvo un aumento de 1 °C. A su vez, dos estaciones disminuyeron su promedio, tal es el caso de la estación Cinco de Mayo en San Pedro de Gallo, la cual disminuyó 0.1 °C y la estación El Pueblito con una disminución de 0.2 °C en el centro del estado.

Por último, en referencia de la precipitación pluvial, la mayoría de las estaciones climatológicas se espera incrementen en promedio 177 mm, en su media anual de precipitación, sin embargo; así como en la variable temperatura algunas estaciones disminuyeron su promedio, también en la variable precipitación ciertas estaciones presentaron este resultado. Por ejemplo, en la parte noroeste del estado, en las que se encuentran El Tarahumar (Tepehuanes) y Topia (Topia), se espera disminuyan en

promedio de 240 mm; en la parte noreste del estado solo la estación climatológica de Cañón de Fernández registra una precipitación de 310 mm, presentó una disminución de 180 mm, lo cual se podría convertir en una situación crítica por la disminución en su promedio anual.

En la parte sur-suroeste del estado, se presentan los incrementos más significativos, se espera que las estaciones que comprenden los municipios de Santiago Papasquiaro, Tamazula, Canelas, Canatlán y Durango sean los lugares con mayor incremento en el promedio anual respecto a la precipitación. Estos incrementos en la precipitación, coinciden con lo que se espera suceda en muchas partes del mundo. En la variable de precipitación se estima que la mayor anomalía se presentará en los municipios de Canelas, Tamazula y Pueblo Nuevo con incrementos de 349, 407 y 140 mm, respectivamente.

5.3.6.2 Rendimiento de Frijol en condiciones de temporal bajo escenarios de Cambio Climático

De la totalidad de los municipios estatales, solo se utilizaron 16 de ellos en la elaboración de los escenarios de rendimiento para dos épocas de siembra, Junio y Julio, para los próximos 30 años. Dichos escenarios fueron contrastados con los generados para precipitación y temperatura tanto a nivel histórico como para los escenarios a 30 años.

Superficie sembrada y cosechada de Frijol por municipio del estado de Durango año 2003-2010

Los municipios que se destacan por sembrar y cosechar la mayor cantidad de superficie durante ese periodo son Cuencamé y Guadalupe Victoria con 47,052.82 y 45,781 ha respectivamente para siembra y de 44,512.18 y 44,754.25 ha, respectivamente para cosecha, sin embargo a partir del año 2003 se observa un decremento gradual hasta el año 2008 donde nuevamente se incrementó la superficie de siembra; disminuye en 2009 y se eleva para el 2010. Se puede observar en las Figuras 5.3.2 y 5.3.3 que la superficie sembrada y cosechada durante 2003, no se logró en los años siguientes; este

comportamiento se debió básicamente a lo irregular de la cantidad y distribución de la precipitación.

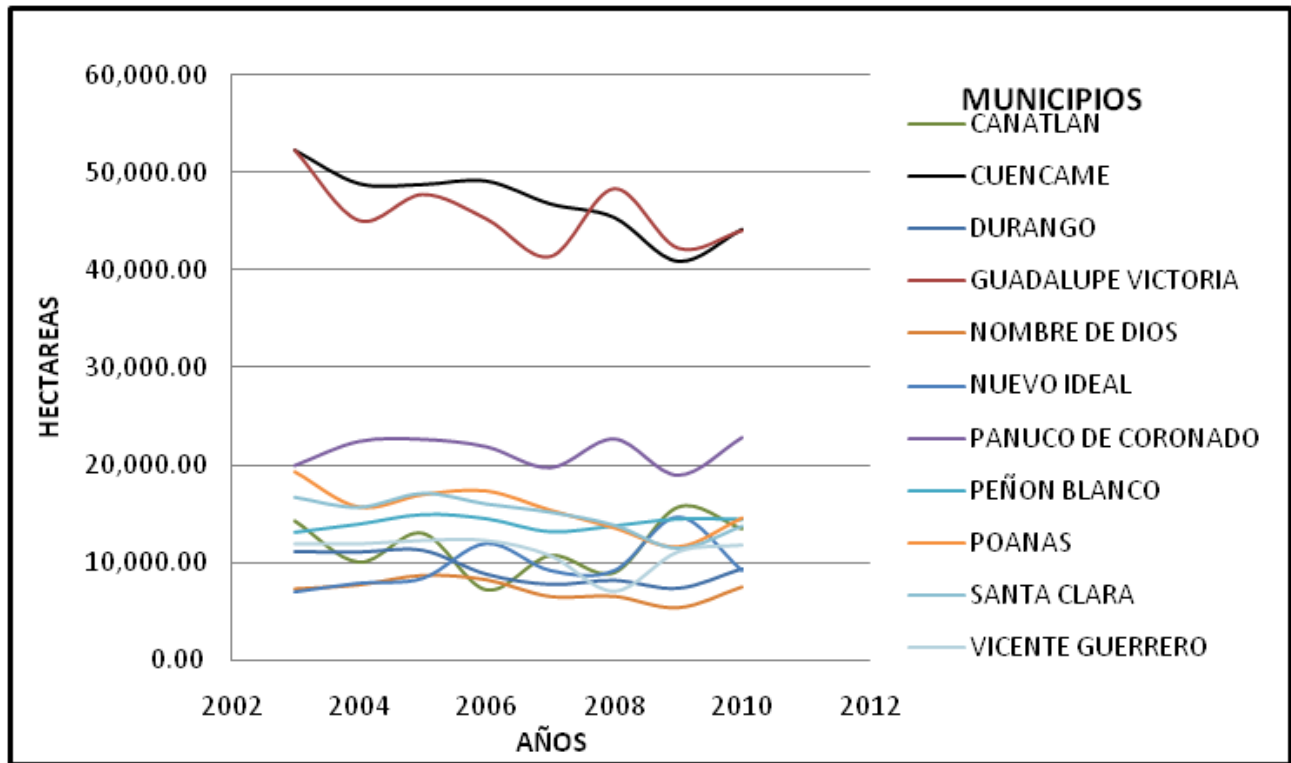


Figura 5.3.2 Superficie (ha) sembrada de Frijol de temporal del estado de Durango del año 2003 al 2010 (SIAP, 2011)

En ese orden de ideas se espera para el año 2011, un decremento mayor al 50% de la superficie cosechada debido a que para finales del año la precipitación acumulada se encontraba muy por debajo de las necesidades del cultivo para su establecimiento.

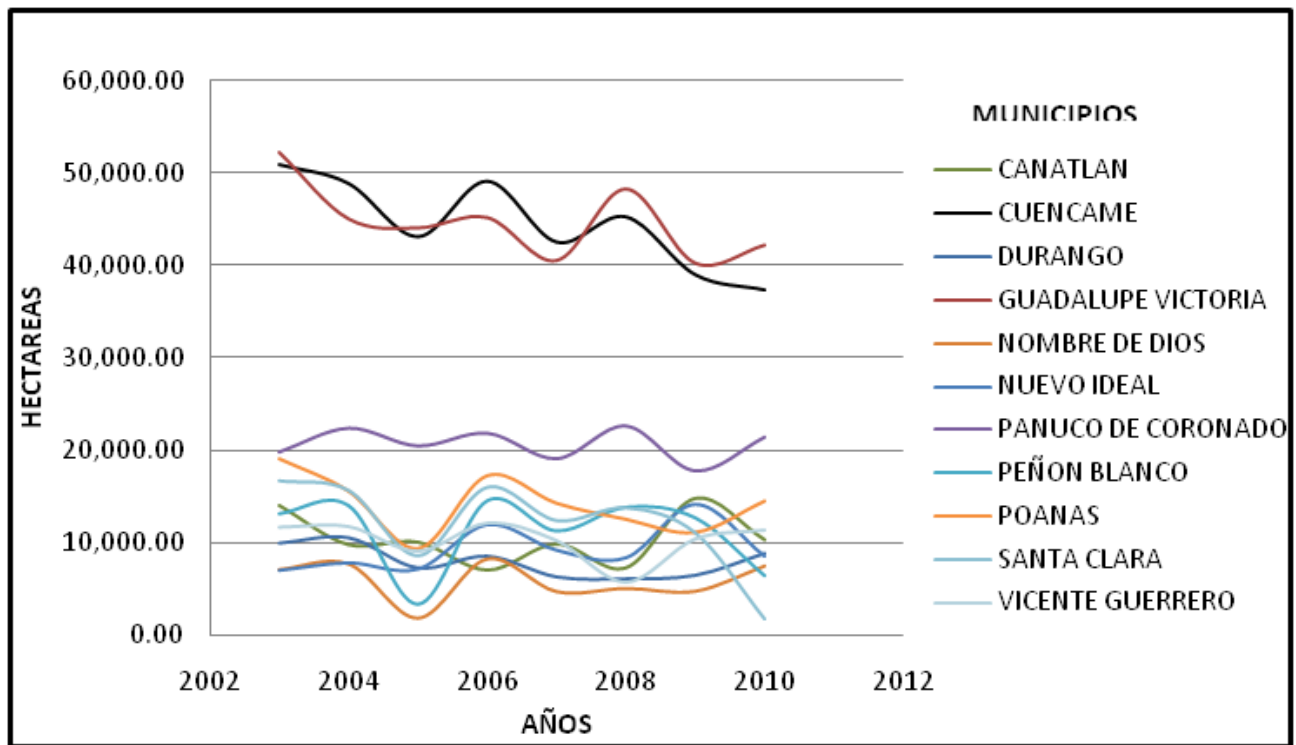


Figura 5.3.3 Superficie (ha) cosechadas de Frijol de temporal del estado de Durango del año 2003–2010 (SIAP, 2011)

5.3.6.3 Rendimiento de Frijol de temporal por municipio del estado de Durango periodo 2003-2010

El rendimiento del Frijol muestra diferencias entre los municipios y entre años. Se nota una baja en el rendimiento en el año 2005, Cuencamé presentó una baja de 0.5 t/ha, por otra parte Vicente Guerrero muestra el rendimiento más alto en el año 2006 con 1 t/ha, la importante variación para el rendimiento de Frijol observada entre los datos obtenidos se debe a las condiciones de suelo y clima (Figura 5.3.4).

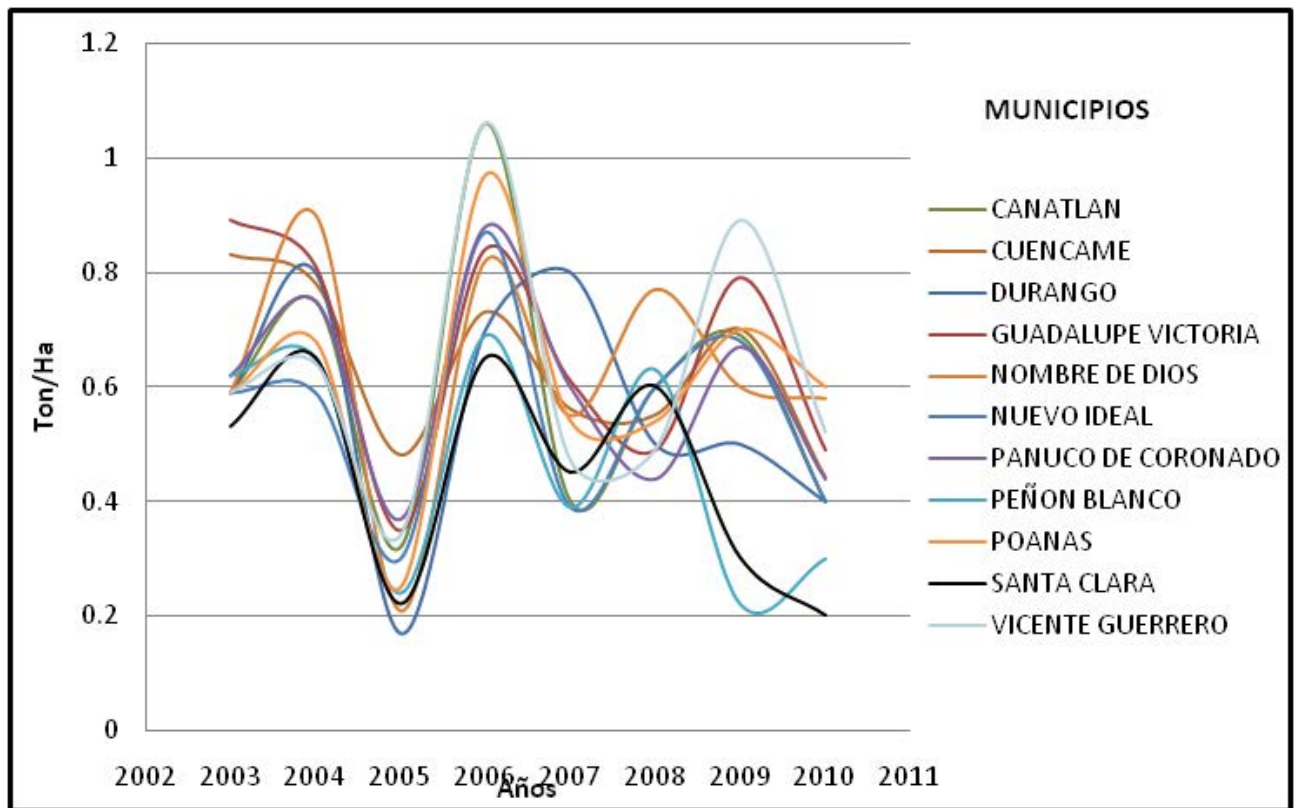


Figura 5.3.4 Rendimiento de Frijol de temporal (t/ha) del estado de Durango en 2003-2010 (Fuente: SIAP, 2011)

5.3.6.4 Escenarios para rendimiento de Frijol de temporal en Durango

El rendimiento promedio histórico por hectárea que ha tenido el Frijol de temporal a lo largo de los años 2003 al 2010 en los municipios más importantes del estado de Durango se muestra en la Tabla 5.3.2, así como los escenarios de rendimiento a 30 años considerando 2 épocas de siembra. En la Figura 5.3.5 se observa la distribución espacial del rendimiento de Frijol de temporal de los datos históricos, observando que los municipios con mayor rendimiento por hectárea son Indé, Hidalgo, gran parte de Mapimí y Tlahualilo, una parte del municipio de El Oro, Santiago Papasquiari, Tamazula y San Dimas cubriendo en su totalidad al municipio de Otáez; con un rendimiento de 0.8 a 1.0 t/ha. Gran parte del estado con un rendimiento que va desde 0.6 a 0.7 t/ha, una gran parte de los municipios de Tamazula, Pueblo Nuevo y El Mezquital los que presentan un rendimiento que va desde 0 a 0.2 t/ha.

Tabla 5.3.2 Rendimiento actual y a 30 años del cultivo de Frijol de temporal bajo un escenario de Cambio Climático

Clave	Estación Climatológica	Municipio	Histórico	30 años	
				Junio	Julio
10003	Canelas	Canelas	0.54	0.9	0.9
10004	Cañón de Fernández	Cuencamé	0.63	0	0.0
10006	Cendradillas	Guanaceví	0.42	0.6	0.4
10012	Cuencamé	Cuencamé	0.63	1.2	1.4
10014	Charco Verde	Durango	0.55	0.3	0.3
10016	Chinacates	Stgo. Papasquiario	0.71	0.8	0.7
10018	El Cantil	Stgo. Papasquiario	0.71	0.4	0.4
10021	El Palmito	Indé	0.8	1.3	1.5
10022	El Pino	Canatlán	0.6	0.9	0.7
10023	El Pueblito	Durango	0.55	1	0.9
10026	El Tarahumar	Tepehuanes	0.54	0.1	0.1
10027	Francisco I Madero smn	Panuco d Coronado	0.59	0.9	0.9
10029	Guanaceví smn	Guanaceví	0.42	0.8	0.6
10030	Guadalupe Victoria DGE	Guadalupe Victoria	0.65	0.9	0.8
10036	La Ciudad	Pueblo Nuevo	0.3	0.1	0.1
10047	Narciso Mendoza	Poanas	0.6	0.9	0.9
10051	Otinapa	Durango	0.55	0.5	0.4
10054	Peña del Águila	Durango	0.55	0.9	0.7
10068	Sn Juan del Rio smn	Sn Juan del Rio	0.53	1.3	1.2
10074	Santa Clara	Santa Clara	0.45	1.1	1.0
10082	Tamazula	Tamazula	0.3	1.1	1.1
10084	Tepehuanes	Tepehuanes	0.54	1.1	0.9
10086	Topia	Topia	0.56	0.8	0.7
10090	Canatlán	Canatlán	0.6	0.6	0.6
10100	Santiago Papasquiario	Stgo. Papasquiario	0.71	1.2	1.0

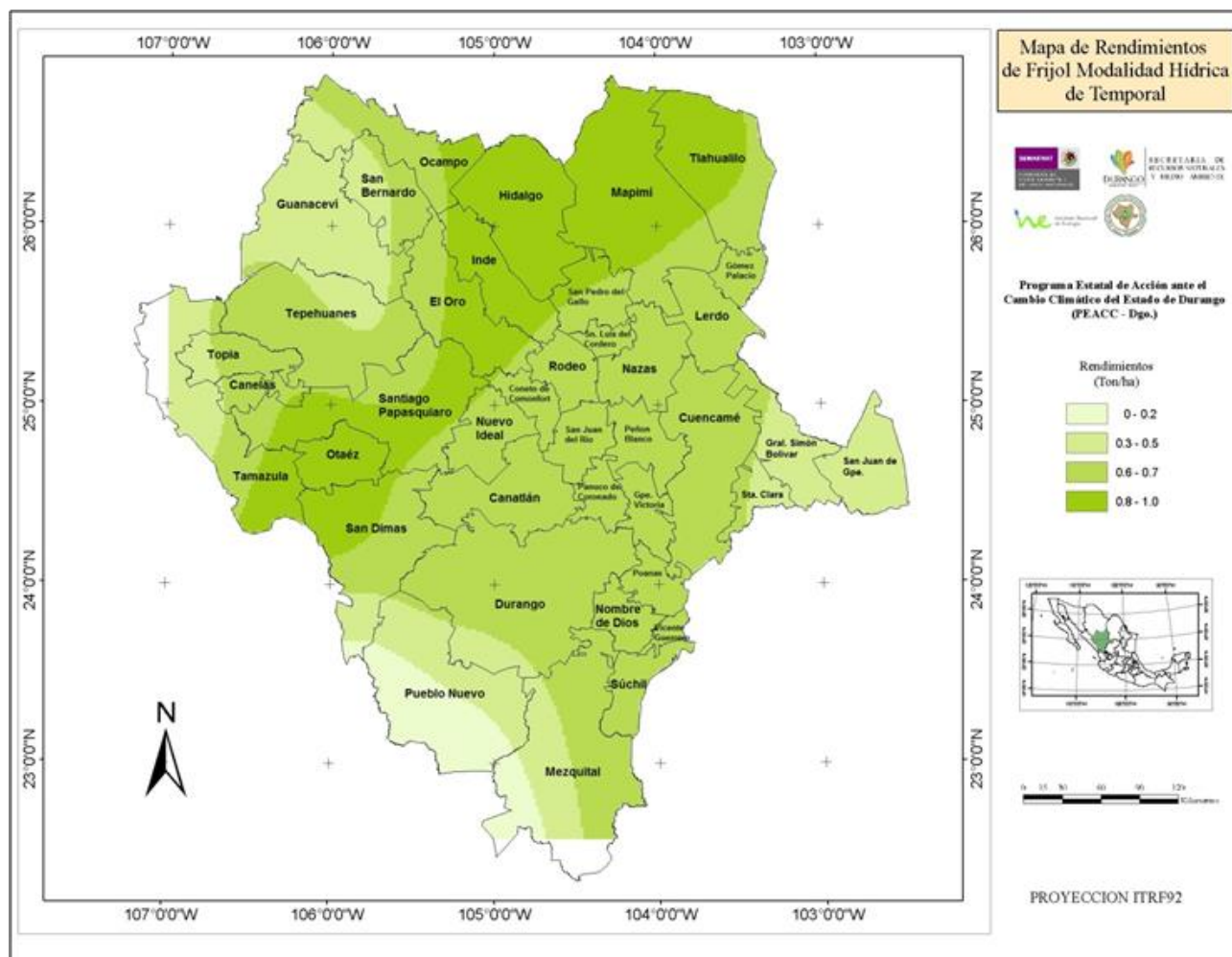


Figura 5.3.5 Rendimiento histórico del Frijol de temporal para el estado de Durango

Bajo un escenario de Cambio Climático, se observa en la Figura 5.3.6 la distribución espacial que representa el rendimiento por hectárea del Frijol a 30 años para la siembra en junio. Se observa un incremento prácticamente en la totalidad de los municipios con rendimientos de 1.0 hasta 2.3 t/ha, presentando Indé el mayor rendimiento de 1.3 t/ha en esta fecha de siembra.

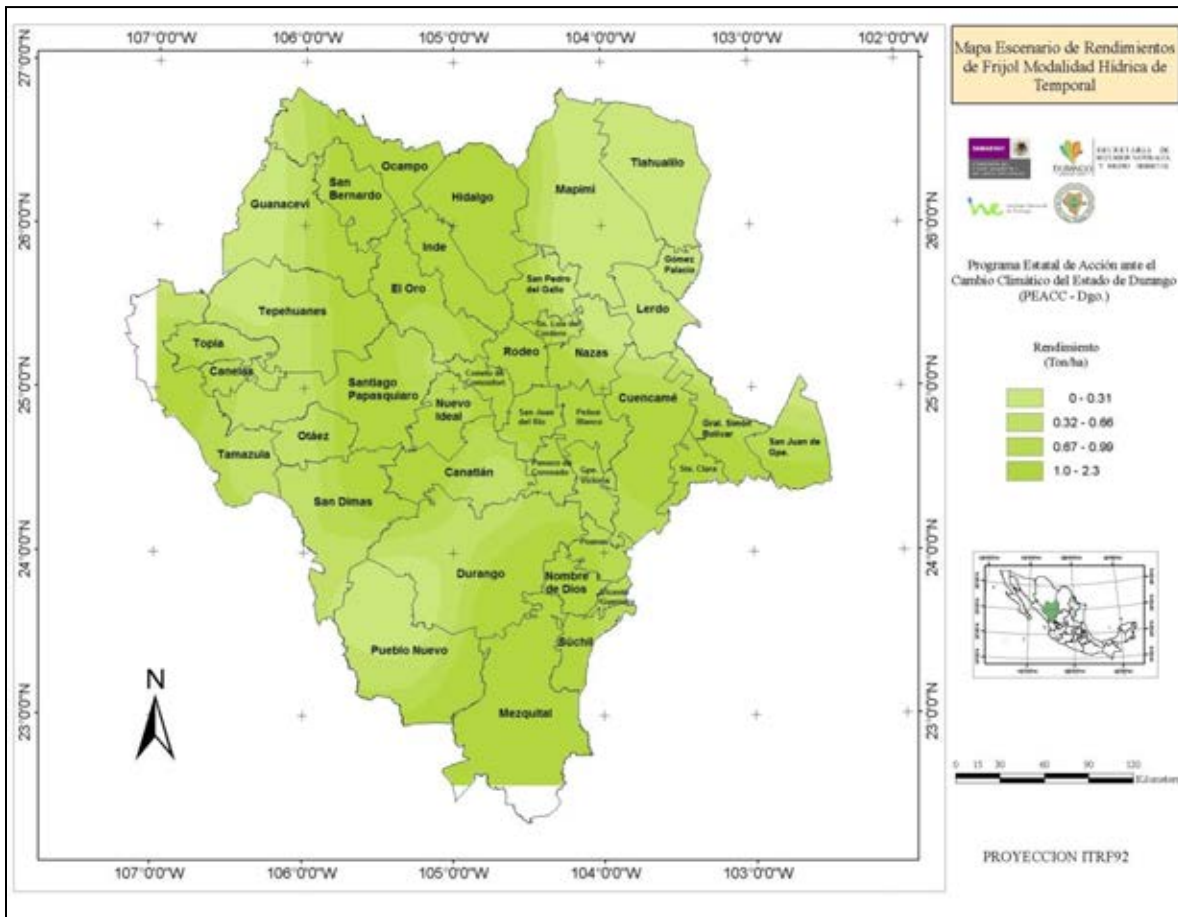


Figura 5.3.6 Escenario de rendimiento de Frijol de temporal fecha de siembra Junio

La Figura 5.3.7 muestra el escenario a 30 años para rendimiento de Frijol con fecha de siembra para el mes Julio. No se observan diferencias importantes en comparación con la fecha de siembra de Junio, mostrando casi las mismas condiciones para todos los municipios; Indé que es el municipio que presenta una tendencia a un rendimiento superior al de los demás municipios, en esta fecha de siembra muestra un incremento de 0.2 t/ha, en relación a la que presentó para el mes de Junio (1.5 t/ha). De manera general se observa un excelente escenario para el cultivo de Frijol de temporal, para casi la totalidad de los municipios del estado.

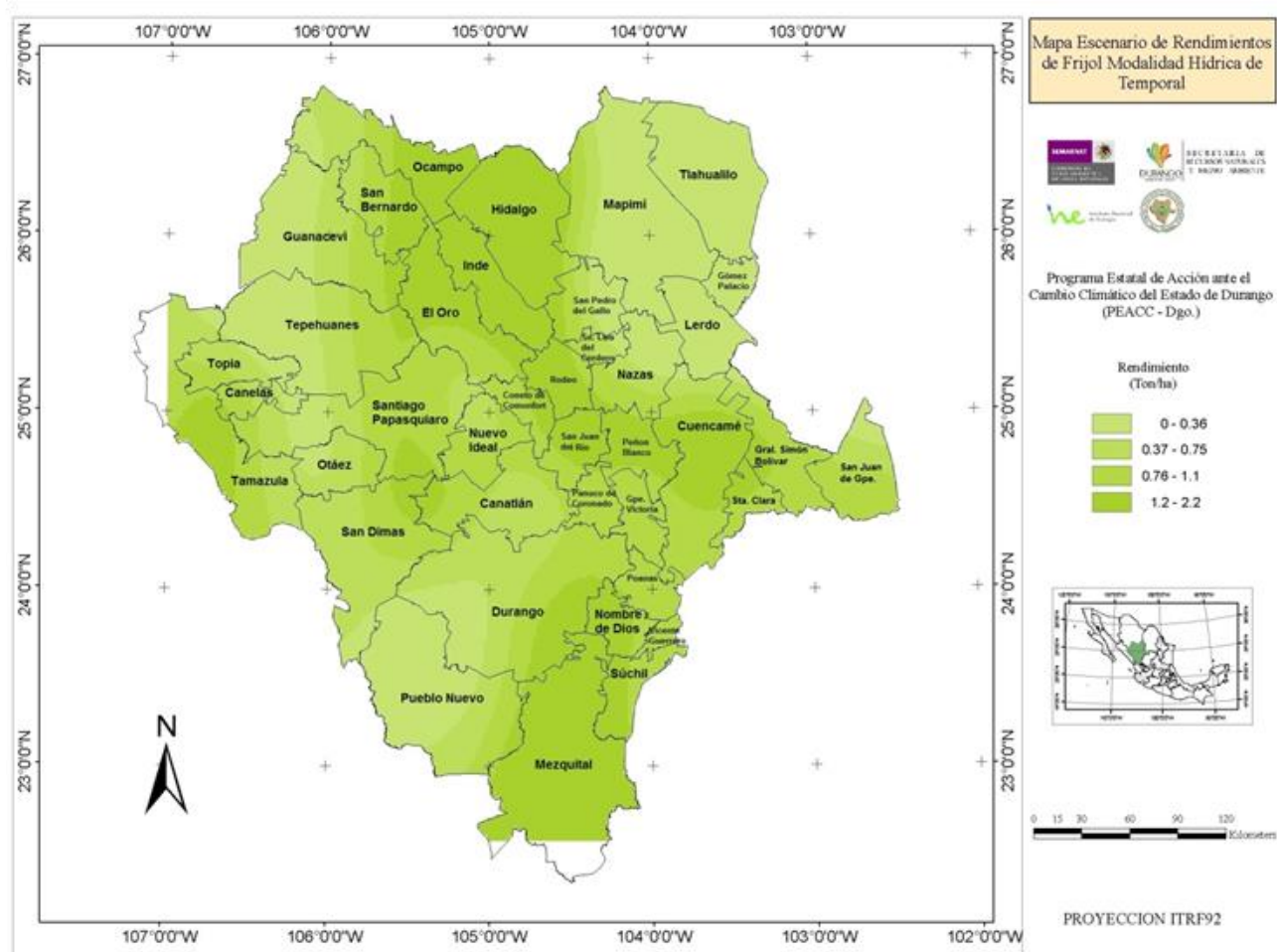


Figura 5.3.7 Escenario de rendimiento de Frijol de temporal fecha de siembra Julio

Por la importancia que tiene el cultivo a nivel estatal (208,663.64 ha cosechadas promedio en los últimos 8 años), se hace énfasis en el comportamiento en la producción de Frijol únicamente de cuatro municipios (Cuencamé, Guadalupe Victoria, Pánuco de Coronado y Poanas) debido a que en su conjunto suman 124,317.84 ha cosechadas, lo que representa casi el 60 % de la superficie. Sin embargo se realiza un análisis general del resto de los municipios del estado con la finalidad de complementar el estudio.

En el análisis inicial sobre el comportamiento del rendimiento del cultivo del Frijol en los próximos 30 para las siembras que se realizarían en los meses de Junio y Julio se observó un comportamiento similar en rendimiento a nivel histórico en los 4 municipios (Tabla 5.3.3). Asimismo se observa un incremento en la producción en ambas fechas de siembra,

destacando el municipio de Cuencamé con un 122% para la siembra en el mes de Julio, mientras que el menor incremento se observa en Guadalupe Victoria con un 23% para el mismo mes.

Tabla 5.3.3 Escenario a 30 años con siembras a realizar en los meses de junio y julio							
Municipio	Histórico	Junio	Diferencia	%	Julio	Diferencia	%
Cuencamé	0.63	1.2	0.57	90.0	1.4	0.77	122
Gpe. Victoria	0.65	0.9	0.25	38.0	0.8	0.15	23
Poanas	0.6	0.9	0.3	50.0	0.9	0.30	50
Pánuco de Coronado	0.59	0.9	0.31	52.5	0.9	0.31	52.5

A nivel histórico se observa un rendimiento similar en los 4 municipios (0.6 – 0.7 t/ha), sin embargo este comportamiento varía de manera porcentual de acuerdo a los escenarios que se presentan para las fechas de siembra de Junio y Julio. El municipio que presenta un mayor incremento es Cuencamé en su parte central (90% de su territorio) para las siembras en el mes de Junio con rendimientos que oscilarán entre 1 y 2.3 t/ha, mientras que para las siembras en el mes Julio el municipio que presenta el mayor homogeneidad en rendimiento para la totalidad de su territorio es Guadalupe Victoria (100%) con valores de 0.76 – 1.1 t/ha (Tabla 5.3.4 y Figura 5.3.7).

Los resultados observados en los Tablas 5.3.3 y 5.3.4 muestran congruencia con la temperatura y precipitación que se presentarían bajo escenarios de Cambio Climático, ya que en ambas se observan incrementos importantes, lo que se reflejaría en grandes aumentos en la producción de Frijol en el estado la probablemente se incrementaría a niveles superiores al 100%.

Tabla 5.3.4 Rendimiento del Frijol por municipio en dos épocas de siembra en un escenario A2 a 30 años

Municipios	Rendimiento (Toneladas)		
	Histórico municipal	Escenario A2, Junio	Escenario A2, Julio
Cuencamé	0.6 - 0.7	1.0 - 2.3	1.2 - 2.2
		0.67 - 1.0	0.76 - 1.1
		0.32 - 0.66	0.37 - 0.75
		-----	0.0 - 0.36
Guadalupe Victoria	0.6 - 0.7	0.67 - 0.99	0.76 - 1.1
		1.0 - 2.3	-----
Poanas	0.6 - 0.7	0.32 - 0.66	0.76 - 1.1
		0.67 - 0.99	1.2 - 2.2
Panuco de Coronado	0.6 - 0.7	0.67 - 0.99	0.76 - 1.1
		1.0 - 2.3	1.2 - 2.2

5.3.7 Conclusiones de vulnerabilidad del Frijol

El comportamiento de la producción de Frijol se concentra principalmente en los municipios de Cuencamé y Guadalupe Victoria. Para ambos municipios el escenario proyectado que podría presentarse en los próximos 30 años es prometedor debido a que el municipio de Cuencamé presenta un incremento en la producción, principalmente en parte central, aproximadamente en un 90% del municipio para las siembras en el mes de Junio con rendimientos que oscilarán entre 1 y 2.3 t/ha. Similar comportamiento presenta el Municipio de Guadalupe Victoria para las siembras que se realizarían en el mes Julio donde se observa una gran homogeneidad en rendimiento para la totalidad de su territorio con valores de 0.76–1.1 t/ha. Sin embargo, es conveniente considerar la posibilidad de cambio en la periodicidad de las precipitaciones lo cual podría abatir estos rendimientos.

El incremento de la temperatura máxima promedio anual en el estado para el escenario A2-20 fue de $1.3 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$, con los mayores incrementos en la región de las quebradas; principalmente en Tamazula donde el incremento esperado sería de 0.3 a 1.1 t/ha, así como para la zona semiárida del estado. Sin embargo este comportamiento podría significar que habrá veranos más calurosos y posiblemente eventos extremos de temperaturas máximas que afecten la productividad del cultivo por estrés térmico.

Bajo el escenario A2 para el estado, se espera que a 30 años la temperatura mínima se eleve en 0.3°C . Esto podría ocasionar un decremento en el rendimiento en algunos municipios que por superficie y producción no son tan importantes como Durango y Santiago Papasquiario (de 0.7-0.4 t/ha), en algunas de sus áreas productivas.

Bajo un escenario de Cambio Climático, a 30 años para la siembra en junio, se observa un incremento prácticamente en todos los municipios con rendimientos de 1.0 hasta 2.3 t/ha, presentando Indé el mayor rendimiento de 2.3 t/ha. El escenario con fecha de siembra para el mes Julio no presenta diferencias importantes en comparación con la fecha de siembra de Junio, mostrando casi las mismas condiciones para todos los municipios.

La modelación con EPIC muestra un excelente escenario para el cultivo de Frijol de temporal para casi toda la superficie del estado, sin embargo esto dependerá de la distribución de la precipitación, la manera en que se presenten las temperaturas máximas y mínimas, así como de posibles fenómenos atmosféricos extremos.

5.4 Evaluación de la Vulnerabilidad de la Avena Forrajera del estado de Durango bajo Condiciones de Cambio Climático



5.4.1 Resumen de la vulnerabilidad de la Avena

La variabilidad en la temperatura promedio del planeta ha afectado procesos como el ciclo del agua, alterando la frecuencia e intensidad de fenómenos climatológicos como la precipitación, huracanes, tornados, entre otros, lo que ha convertido en más catastróficos los desastres naturales.

Estos fenómenos dañan comunidades, cultivos, ecosistemas, etc., alterando el equilibrio ya de por sí, modificado por la actividad humana. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha indicado que no hay duda alguna de que los incrementos en la temperatura global del planeta tienen su origen en actividades antropogénicas, particularmente en aquellas relacionadas con la combustión de los energéticos fósiles y con la deforestación.

La situación geográfica de nuestro país, las condiciones climáticas, orográficas e hidrológicas, entre otros factores, contribuyen a que el territorio nacional sea una de las zonas más vulnerables en el mundo al fenómeno del Cambio Climático. La actividad agrícola es uno de los sectores que presentan un grado de vulnerabilidad considerable a los eventos extremos, sobre todo en los relacionados con la precipitación.

En el estado de Durango, esta situación es similar a la mayoría de los estados del centro y norte de nuestro país, ya que la actividad agrícola se desarrolla en un 83% en la modalidad hídrica de temporal, y en la cual de toda la superficie sembrada solo se cosecha un 85%.

El presente estudio reporta la posible respuesta del cultivo de Avena Forrajera, tercer cultivo de importancia después del Maíz y Frijol en el estado de Durango, a una serie de escenarios climáticos, resultado del proceso de regionalización. Este proceso, se denomina técnicas de reducción de escala cuyo objetivo esencial es hacer que la resolución sea más fina y precisa dentro de la gruesa malla de resolución de los modelos de circulación general.

Los resultados se presentan mediante varias simulaciones de rendimiento del cultivo ensayando diferentes fechas de siembra. Los datos de clima utilizados son los generados en los escenarios de Cambio Climático mencionados anteriormente.

Los resultados sugieren que se tendrán incrementos tanto en la variable temperatura máxima como mínima, así como en la variable precipitación para algunos sitios, así como disminución en las variables mencionadas anteriormente para otras regiones del estado.

Referente a los rendimientos, en las cuatro fechas de siembra ensayadas se presentan decrementos con respecto a los valores de rendimiento en las condiciones actuales, siendo distintivos para cada sitio. Los resultados mostrados no son determinantes ni se ligan a un determinado periodo por lo que se debe tener claro que son aproximaciones a lo que se espera suceda si determinadas condiciones se mantienen.

Sin embargo la utilización de herramientas que permitan evaluar los posibles efectos del clima a escala regional o local, se convierten en una pieza clave para realizar estudios de impacto y de vulnerabilidad.

5.4.2 Introducción de la vulnerabilidad de la Avena

El Cambio Climático es una de las manifestaciones más visibles de la crisis ambiental y energética que vive nuestro planeta desde hace algunas décadas. Es un fenómeno complejo, que se presenta en distintas escalas y con distintos grados de complejidad, y que requiere abordarse mediante una perspectiva interdisciplinaria e integral (Salazar y Masera, 2010).

En el cuarto reporte de evaluación del IPCC, se establece por primera vez que el calentamiento global es inequívoco; su grupo de trabajo I (IPCC, 2007b), señala que “la mayor parte del calentamiento global observado durante el siglo XX se debe muy

probablemente (90 % de confianza) al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero causado por las sociedades humanas”.

Los cambios observados no sólo se reducen al aumento de la temperatura global (alrededor de 0.74°C en los pasados 100 años), sino que también se observan alarmantes reducciones en los cuerpos de hielo y nieve terrestres, en especial en las regiones polares. Por otra parte, ante el calentamiento oceánico se ha observado el aumento del número de huracanes de categorías 4 y 5, que casi se han duplicado entre 1970 y 2004, mientras que los de categoría 1 han disminuido ligeramente. Para países como México, éstas no son buenas noticias. Asimismo, una atmósfera más caliente implica en primera instancia que las lluvias torrenciales pueden ser más frecuentes. Sin embargo, aunado a eventos de inundaciones también se están presentando periodos de sequías más intensas y prolongadas (Cárdenas, 2010).

Por lo anterior, podemos afirmar que el clima está cambiando ya, y que de continuar las tendencias de cambios en la composición atmosférica por acciones humanas, esos cambios serán más rápidos y más intensos. Resulta que para saber cómo sería el clima futuro requerimos saber cuánto van a emitir las sociedades humanas, y con ello, cuánto se va a alterar la composición atmosférica terrestre. Sin embargo, para saber esas emisiones, requeriríamos saber cuánto y con qué intensidad seguirá la humanidad quemando combustibles fósiles, cuán rápida será nuestra capacidad de establecer tecnologías nuevas – en particular las asociadas a fuentes de energía alternas-, cuánto crecerá la población mundial, y cómo se dará el cambio del uso de suelo, dada la frenética deforestación global. En síntesis, para las proyecciones del clima futuro requerimos saber cómo cambiarán la economía y la sociedad globalmente (Cárdenas, 2010, Conde, 2010).

Ante la imposibilidad de reducir esas incertidumbres, requerimos saber cómo vamos a manejarnos socialmente con ella; esto es, cómo tomar decisiones ahora en un contexto de incertidumbre futura, de tal suerte que nuestras decisiones y acciones impacten positivamente en el clima global (Conde, 2010).

Basado en lo anterior, el adecuado conocimiento del clima del planeta y del Cambio Climático es fundamental para el análisis de la vulnerabilidad ante el Cambio Climático y para determinar estrategias de adaptación (Magaña *et al.*, 2000). Así, uno de los grandes retos dentro de las investigaciones actuales es el de realizar a escala regional estudios de vulnerabilidad que permitan diseñar estrategias de adaptación de los sistemas humanos sobre los que descansa la productividad y bienestar de nuestras sociedades (Conde *et al.*, 2004).

Por ende, la comparación entre las condiciones actuales y las que potencialmente se presentarían bajo un Cambio Climático permite la identificación y la cuantificación del grado de vulnerabilidad de los lugares donde se tendrían efectos adversos (Magaña *et al.*, 2000). La herramienta más robusta para cuantificar impactos futuros basados en acontecimientos pasados es la modelación y simulación de procesos (Sánchez, 2005).

5.4.3 Modelación y simulación de procesos

5.4.2.1 Modelación de Cultivos

La ciencia de la agricultura depende de las actividades de investigación para: (i) la adquisición de conocimientos, (ii) el orden y desarrollo del conocimiento para la comprensión de ese conocimiento, y (iii) la aplicación y/o entendimiento de los conocimientos para la solución de problemas prácticos (Krishnan *et al.*, 2009; Schlenker, 2010; Tebaldi y Knutti, 2010).

El conocimiento histórico empírico sobre el clima ha sido muy importante para el desarrollo de la agricultura. Buena parte de ese conocimiento no se puede incorporar de manera formal a los modelos de simulación agroclimática. Sin embargo, el desarrollo de métodos científicos en el estudio de la variabilidad y Cambio Climático, permite que algunas prácticas agrícolas tradicionales se modifiquen, para adaptarse a las condiciones dominantes hoy en día (Conde *et al.*, 2007).

Los modelos ecofisiológicos fueron las herramientas más utilizadas para estimar el impacto potencial del Cambio Climático en los agroecosistemas en la Tercera y Cuarta Evaluación de los informes del IPCC (Gitay *et al.*, 2007; Easterling *et al.*, 2007) y son ampliamente utilizados en otras partes de la investigación.

Quienes practican la agricultura tradicional tienen un íntimo conocimiento de su medio, obtenido a través de la observación constante del entorno. A pesar de este conocimiento empírico, los agricultores tradicionales enfrentan hoy en día los aspectos negativos de condiciones climáticas extremas, por lo que es necesario establecer alternativas en los manejos y tipos de cultivo que reduzcan las pérdidas en el campo. Una de ellas incluye el uso de información climática regional utilizando datos de décadas recientes y métodos modernos de análisis (Conde *et al.*, 2007) como modelos de simulación que permitan incorporar prácticas de manejo que mejoren las labores tradicionales (Sánchez *et al.*, 1997).

Estos modelos, también conocido como "modelos de cultivo" o "modelos de simulación", intentan encapsular los mejores conocimientos disponibles sobre la fisiología de plantas, agronomía, ciencias del suelo y la agrometeorología a fin de predecir cómo una planta crecerá en condiciones ambientales específicas. Los modelos son "ecofisiológicos" debido a que utilizan descripciones matemáticas de la fisiología, procesos físicos y químicos para simular el crecimiento de los cultivos y el desarrollo a través del tiempo.

La mayoría de los modelos funcionan a intervalos de tiempo de todos los días, a partir de la fecha de plantación y finaliza con la predicción de la cosecha o la madurez fisiológica, dependiendo del cultivo. La información sobre riego, aplicación de fertilizantes, los eventos de labranza, las plagas, enfermedades u otros factores también pueden ser considerados (White y Hoogenboom, 2010; Schlenker, 2010).

Así, existen dos líneas de trabajo para examinar las respuestas de los cultivos a las variaciones climáticas, basadas en:

- i. La medida de la aptitud de un cultivo mediante el uso de índices agroclimáticos.

- ii. La estimación de la productividad potencial⁶ al modelar la interacción cultivo-clima.

Los índices agroclimáticos se utilizan para caracterizar el crecimiento de un cultivo sobre la base de variables dadas. Por ejemplo, es común el uso de la clasificación agrotérmica del clima, a partir de la Temperatura Efectiva Acumulada (TEA), usualmente medida en unidades de calor. La TEA es la suma de las temperaturas durante el periodo de crecimiento que se da por encima de una Temperatura Base, considerada como crítica para el desarrollo del cultivo. Este tipo de índices permite determinar la potencialidad de una región para un cultivo (Conde *et al.*, 2007).

Un segundo método consiste en el uso de modelos de interacción cultivo -clima, que pueden ser empírico-estadísticos o modelos de simulación de procesos. Los primeros establecen relaciones estadísticas entre una muestra de datos de producción del cultivo y una muestra de datos climáticos, las cuales se emplean para predecir rendimientos con base en las observaciones climáticas. Este procedimiento no necesariamente se basa en la comprensión de las relaciones causales entre el clima y el rendimiento del cultivo (Conde *et al.*, 2007).

Por otra parte, los modelos de simulación de procesos describen el crecimiento del cultivo a lo largo de sus diferentes etapas, mediante un conjunto de ecuaciones que relacionan el desarrollo de la planta, el suelo y los factores climáticos (Sánchez, 1994). Estos modelos intentan describir los procesos del crecimiento vegetal. Algunos los consideran como los más adecuados para estimar las respuestas de los cultivos a los cambios en el clima (Conde *et al.*, 1997).

5.4.4 Vulnerabilidad climática

En el sector agricultura, las prácticas agrícolas de temporal en México son particularmente sensibles a cualquier alteración en la estación de lluvias, ya sea por retraso, por irregularidad o deficiencia persistente en las precipitaciones. Condiciones de sequía

⁶ Productividad en condiciones óptimas del cultivo

pueden provocar desde la pérdida de algunos cultivos, hasta hambrunas y migraciones en vastas regiones del país (Conde *et al.*, 2007; 2000).

Se considera temporal a la época del año en que se registran las precipitaciones para el establecimiento y desarrollo de un cultivo. El temporal se puede clasificar en cuatro niveles (Flores, 1986), dependiendo de la cantidad de lluvia anual acumulada:

- i. temporal muy deficiente (menos de 350 mm),
- ii. temporal deficiente (de 350 a 500 mm),
- iii. temporal favorable (500 a 1000 mm) y
- iv. temporal muy favorable (más de 1000 mm).

Los estados del norte son los menos adecuados para los cultivos de temporal, mientras que las regiones centro y del Pacífico son de temporal favorable. Dado que el promedio anual de lluvia en el país es de alrededor de 700 mm, la agricultura de temporal a nivel país tiene escaso rendimiento (Bassols, 1993).

5.4.5 La agricultura de temporal del estado de Durango

La agricultura mexicana se desarrolla principalmente en condiciones de temporal, siendo alrededor del 87% en esta modalidad hídrica y principalmente en el ciclo primavera verano. Con base en información de la oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable del estado de Durango (OIEDRUS) para el período 1980–2009, la superficie total promedio sembrada fue de 521,487 ha (Figura 5.4.1) en la modalidad hídrica de temporal, respecto a 103,494 ha sembradas en condiciones de riego, lo que representa que el 83% de la superficie total en el estado se siembra en temporal, a su vez, en condiciones de temporal en promedio solo se cosecha el 85% de la superficie total sembrada.

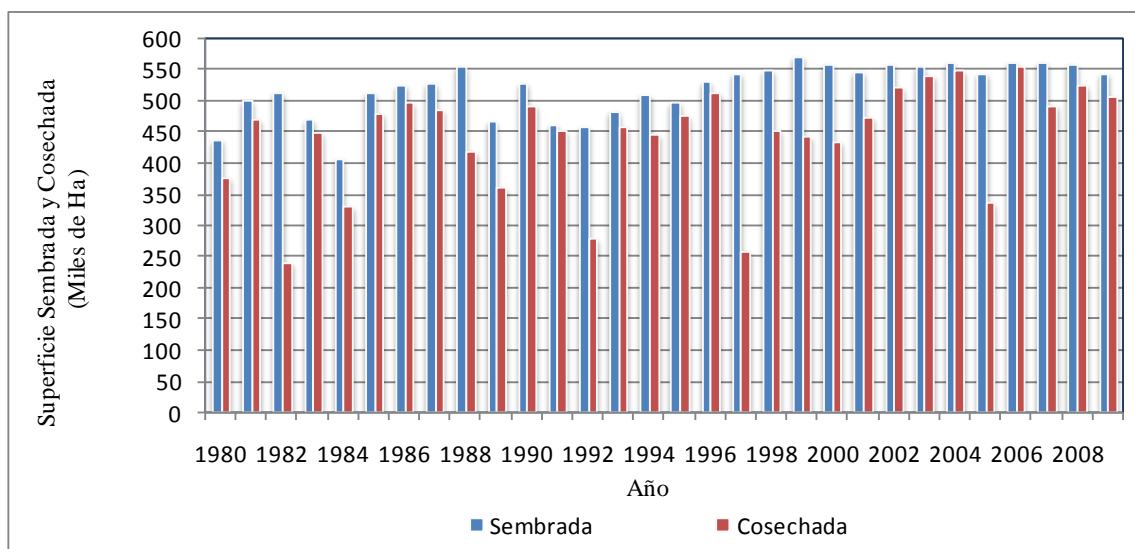


Figura 5.4.1 Evolución anual histórica de la superficie sembrada y cosechada modalidad hídrica de temporal. (Elaboración propia con datos de la OIEDRUS – Durango)

En lo que respecta al valor de la producción por modalidad hídrica, en el decenio de los 80’s los ingresos obtenidos por modalidad eran similares, no fue sino hasta el decenio de los 90’s cuando la agricultura de riego supera económicamente a la de temporal. Sin embargo hasta la fecha, se presenta un gradiente con altas y bajas con respecto a cada modalidad. Sin embargo, como se puede ver en la Figura 5.4.2, la agricultura de temporal en ciertos periodos supera a la agricultura de riego, lo que la ubica como una pieza clave en la producción agrícola.

De la superficie destinada a la agricultura de temporal en el Estado de Durango, en promedio anualmente se siembran aproximadamente 54,999 ha (Figura 5.4.3) de Avena Forrajera de las cuales se cosecha aproximadamente el 91% esto en base a información del sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON) que comprende del año de 1980–2010. Se puede observar un incremento en la superficie destinada a este cultivo a partir del decenio de los 90’s, en donde el rendimiento histórico promedio oscila en las 7 t/ha (Figura 5.4.4).

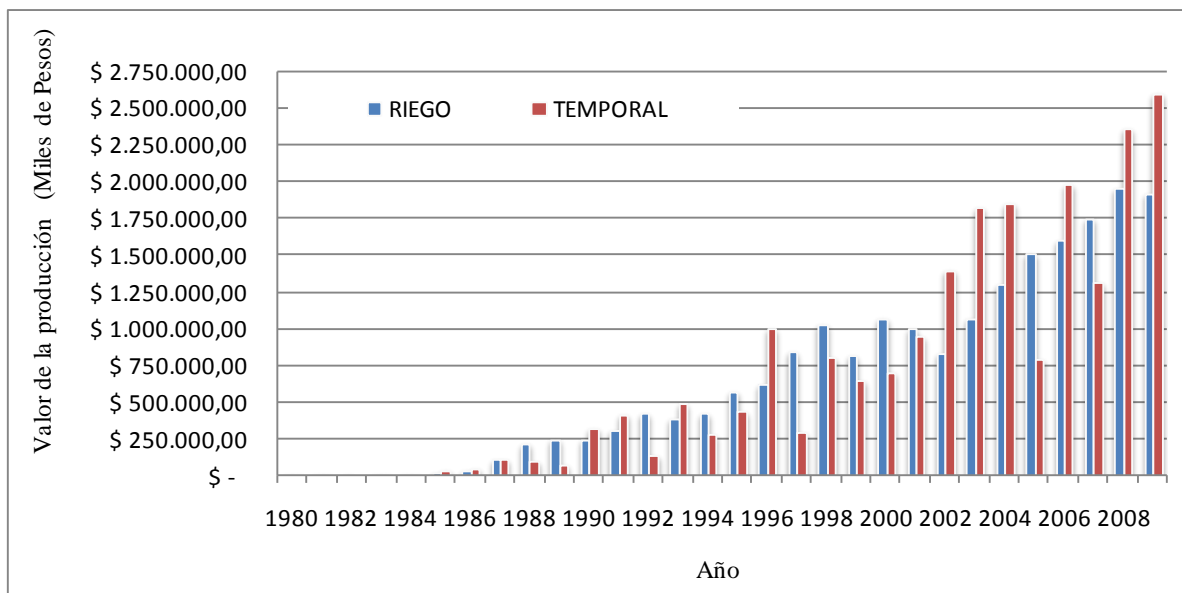


Figura 5.4.2 Evolución anual histórica del valor de la producción por modalidad hídrica. (Elaboración propia con datos de la OIEDRUS – Durango)

La Avena Forrajera es el tercer cultivo mas importante en el Estado después del Frijol y el Maíz y el uso principal de este cultivo es como forraje, es de bajos requerimientos de agua y con buena adaptación a los climas templados semiáridos en el estado (CEVAG, 2005).

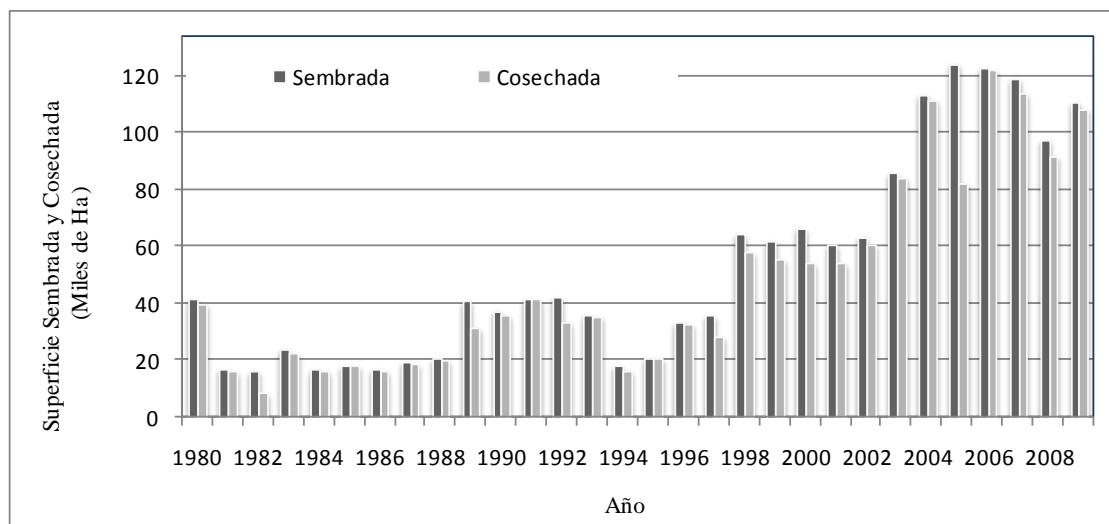


Figura 5.4.31 Evolución anual histórica de la superficie sembrada y cosechada de Avena forrajera en condiciones de temporal. (Elaboración propia con datos del SIACON)

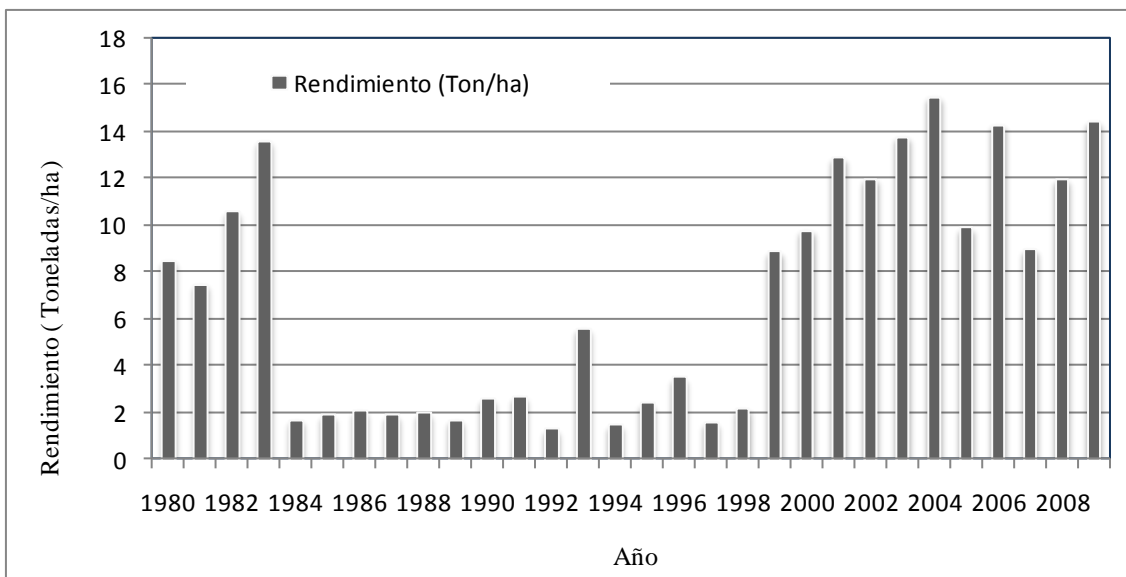


Figura 5.4.4 Evolución anual histórica del rendimiento de Avena forrajera en condiciones de temporal. (Elaboración propia con datos del SIACON)

5.4.6 Marco metodológico

Se realizó la simulación para un período de 30 años, para el cultivo de Avena en condiciones de temporal para el estado de Durango, mediante el modelo EPIC (Erosión Productivity Impact Calculator o recientemente denominado Environmental Policy Integrated Climate), el cual inicialmente fue desarrollado para evaluar el impacto de la erosión del suelo en la productividad del mismo suelo por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA-ARS) en 1984 (Ren *et al.*, 2010; Gaiser *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2009).

Este modelo es adecuado para la mayoría de todas las simulaciones de cultivos y emplea como variables de entrada datos climáticos como la radiación solar, temperatura máxima, la temperatura mínima y precipitación así como los parámetros de suelo y de manejo del cultivo. El modelo EPIC utiliza el concepto de eficiencia en el uso de la radiación por el cual una fracción de la radiación fotosintéticamente activa diaria es interceptada por el dosel de las plantas y convertida en biomasa. Las ganancias diarias de biomasa por las plantas se ven afectadas por déficit de presión de vapor y la concentración atmosférica de

CO₂ (Ren *et al.*, 2010; Ko *et al.*, 2009; Niu *et al.*, 2009; McGill *et al.*, 2006). Hasta ahora, el modelo EPIC ha sido ampliamente utilizado para simular el rendimiento de más de 10 diferentes cultivos en muchos países del mundo (Gaiser *et al.*, 2010; Tan y Shibasaki, 2003).

El modelo de simulación de cultivos EPIC puede ser utilizado para evaluar el impacto del clima y las estrategias de manejo en la producción agrícola, así como en los recursos suelo y agua. Más información sobre este modelo está bien documentada en (Williams, 1995; Ren *et al.*, 2010; Gaiser *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2009; Ko *et al.*, 2009; Niu *et al.*, 2009).

Para la simulación de rendimientos, la información climática fue obtenida de los escenarios futuros de temperatura y precipitación mediante el modelo de circulación general CGCM1 y el modelo estadístico de reducción de escala (SDSM) (Esquivel, 2011). Como la salida de los escenarios climáticos fue en valores mensuales, se acudió a un generador climático para obtener los valores diarios y así poder calcular la temperatura máxima, mínima y precipitación, con su desviación estándar y el coeficiente de sesgo para el caso de la precipitación; así como las probabilidades condicionales de lluvia, variables esenciales en el modelo EPIC.

Para el caso de la Avena Forrajera prospera en altitudes que van de los 1000 a los 3000 msnm, en condiciones de temporal se requieren de 250 a 700 mm de precipitación para su desarrollo, siendo el óptimo 500 mm; la temperatura óptima de desarrollo es de 17.5 °C siendo su rango térmico de 5 a 30 °C, para la condiciones edafológicas se desarrolla en suelos arcillo-limosos o franco-arcillosos, a una profundidad mayor de 30 cm.

Su valor de pH se consideró un valor de 7.0 ya que el valor óptimo está entre 5.5 -7.5 y se estableció una concentración de 380 ppm de CO₂ en la atmósfera para la calibración del modelo. Dentro de las labores de cultivo que se establecieron para la simulación fueron las siguientes: barbecho, rastreo, siembra, fertilización y cosecha. En el barbecho se estableció la profundidad de 30 cm, utilizando la dosis de fertilización al momento de la siembra de 40-40-00, estableciéndose como profundidad de siembra a 6 cm. Se asumió

un ciclo vegetativo de 110 días, manejando 3 diferentes fechas de siembra, las cuales fueron en los primeros 15 días del mes de Mayo, Junio y Julio, ya que la fecha límite para sembrar Avena es a finales del mes de Julio. Para la cuestión de la cosecha se manejó a 95 días después de la siembra (CEVAG, 2005).

Una vez obtenidos los valores de rendimiento, se utilizó un Sistema de Información Geográfica para la elaboración de mapas con la distribución espacial, se emplearon un total de 45 EM-SMN; 31 pertenecen al estado de Durango, seis a Sinaloa, tres a Zacatecas, dos a Chihuahua, dos a Nayarit y una a Coahuila. La selección de estaciones climatológicas para obtener los escenarios correspondientes se realizaron de manera similar a lo descrito en la sección 5.1.5.5.

Finamente se obtuvo la distribución espacial de los rendimientos actuales y los proyectados en los próximos 30 años, con diferentes fechas de siembra para evaluar el impacto en el rendimiento, esto derivado de las probabilidades condicionales de lluvia obtenidas de los escenarios climáticos.

5.4.7 Situación actual y escenarios futuros de temperatura y precipitación en el estado de Durango

A continuación se expone la situación actual de las variables de Temperatura y Precipitación en base a los datos históricos observados en las estaciones climatológicas consideradas en el estudio y los escenarios obtenidos de las proyecciones regionalizadas para los próximos 30 años (Esquivel, 2011). Los detalles de los escenarios y mapas correspondientes pueden observarse en el estudio de *Evaluación de la Vulnerabilidad del Maíz de Temporal del estado de Durango bajo condiciones de Cambio Climático*.

5.4.7.1 Temperatura máxima

Con base en información climatológica histórica la temperatura máxima media anual oscila alrededor de los 26.3 °C, y el escenario proyectado arrojó una temperatura promedio de

27.4 °C, por lo que en promedio se espera que esta variable se incremente en 1.1 °C respecto a las condiciones históricas.

Anomalía climática de la variable temperatura máxima

En lo que respecta a la región norte y noreste del estado los resultados muestran que los incrementos más considerables corresponden a la parte de los valles y donde los valores de aumento de temperatura comprenden por arriba de los 33 °C en promedio. Es decir, en esta región los sitios más destacables que elevaron su promedio anual, se encuentran los municipios de Cuencamé, Indé y Mapimí que resultaron con un aumento de 2.1, 2 y 1.7 °C respectivamente, junto con Tamazula que incrementó su temperatura promedio anual en 1.9 °C este localizado en la parte Oeste del Estado.

En la parte Sur, correspondiente a los municipios del Mezquital, Pueblo Nuevo y Súchil, las temperaturas se mantienen casi homogéneas respecto a las condiciones actuales. Por el caso contrario, algunos sitios no incrementaron la temperatura sino que la disminuyeron, tal es el caso de la estación de Charco Verde en el municipio de Durango y Chinacates en el municipio de Santiago Papasquiario, con 0.6°C y 0.3°C de disminución, respectivamente.

5.4.7.2 Temperatura mínima

Respecto a la variable temperatura mínima, la situación histórica mantiene el valor promedio anual en 8.9°C, mientras que el escenario producido arrojó un valor de 9.2 °C, por lo que se espera que la temperatura mínima incremente 0.3 °C en los próximos 30 años.

Anomalía Climática de la Variable Temperatura Mínima

En la parte norte del estado es en donde se presentan aumentos de temperatura, los cuales en realidad no superan más allá de 1 grado centígrado, ya que el único sitio que presentó este valor fue El Palmito en el municipio de Indé, la cual tuvo un aumento de 1 °C. La mayor parte de los incrementos oscilan entre los .2 y .5 °C, lo que se refleja en la

mayor parte del estado, sobre todo en el centro. A su vez, dos estaciones disminuyeron su promedio, tal es el caso de la estación Cinco de Mayo en San Pedro de Gallo la cual disminuyó 0.1 °C y la estación El Pueblito en Durango con una disminución de 0.2 °C en el centro del estado.

Por otro lado, se presentaron estaciones en las cuales la temperatura no tuvo incrementos o decrementos, ya que se mantuvieron con el mismo valor. Algo que se debe de mencionar, es que en la etapa de generación de escenarios en las salidas con el modelo estadístico de reducción de escala, en los meses correspondientes al periodo invernal la temperatura presentó una disminución en el escenario respecto a las condiciones actuales, y los incrementos comenzaban en el ciclo primavera-verano. Es decir, aunque en promedio anual la temperatura no refleja cambios a primera vista, se espera que el periodo invernal en la mayoría de los sitios de estudio, sea más frío que en las condiciones actuales.

5.4.7.3 Precipitación

En general se espera un incremento en la mayoría de los sitios que oscila entre los 177 mm; sin embargo se presenta una variabilidad muy marcada entre estaciones. Como se puede apreciar, la parte que corresponde a la parte de la sierra se incrementa significativamente con respecto a lo observado, así como la región denominada los Valles.

Anomalía climática de la variable precipitación

La parte sur – suroeste del estado, se presentan los incrementos más significativos, se espera que las estaciones que comprenden los municipios de Santiago Papasquiaro, Tamazula, Canelas, Canatlán y Durango sean los lugares con mayor incremento en el promedio anual respecto a la precipitación. Así como en la variable temperatura algunos sitios disminuyeron su promedio, también en la variable precipitación se produjo este resultado. Por ejemplo, en la parte noroeste del estado, en las que se encuentran El Tarahumar (Tepehuanes) y Topia (Topia), se espera disminuyan en promedio de 240 mm;

en la parte noreste del estado solo la estación climatológica de Cañón de Fernández la cual registra una precipitación de 310 mm, presentó una disminución de 180 mm, lo cual se podría convertir en una situación crítica por la disminución en su promedio anual.

5.4.8 Situación actual y escenarios futuros de rendimiento de Avena Forrajera en condiciones de temporal

La situación del cultivo de la Avena Forrajera en el estado ha estado evolucionando a través del tiempo en cuanto a superficie se refiere, debido a las investigaciones realizadas para tratar de incrementar el rendimiento, llegando a las casi 55,000 ha en la modalidad hídrica de temporal. El rendimiento promedio estatal oscila en las 7 t/ha, sin embargo históricamente se han presentado altibajos en cuanto a los rendimientos en la gran mayoría por efectos del clima.

Con base en información del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) se obtuvieron los rendimientos históricos del año por municipio del estado de Durango para este cultivo, teniéndose información municipal a partir del año 2003 a la fecha. Sin embargo no todos los municipios siembran este cultivo, por ello la distribución espacial en el mapa no arroja información para la parte sur, noreste y noroeste del estado. Sin embargo se puede observar que los municipios con los rendimientos más altos corresponden a los municipios de Durango, Guanaceví, Indé y Canelas, que oscilan entre los 12 y 14 t/ha correspondientes a la parte alta del Estado y a su vez, en la parte baja que se denomina los valles, los rendimientos oscilan en las 9 t/ha.

Finalmente se realizaron simulaciones de rendimiento para este cultivo en los próximos 30 años mediante el modelo EPIC, usando la matriz climática de los escenarios que se mostraron anteriormente. Se establecieron 3 fechas de siembra, que comprenden los meses de Mayo, Junio y Julio. En seguida se muestra el mapa con la distribución actual de los rendimientos históricos obtenidos en el SIAP vs la fecha de siembra correspondiente al mes de Mayo (Figura 5.4.5), en el cual se muestra cuales serían los posibles impactos en el rendimiento de Avena Forrajera afectados por el Cambio Climático.

Para el mes de mayo, Figura 5.4.5, en el mapa actual se tienen rendimientos de hasta 14 t/ha y como mínimo 6 t/ha, sin embargo tomando como fecha de siembra el mes de Mayo, los rendimientos en la mayoría de los sitios a lo largo del estado presentan un decremento, lo cual se puede ver en los rangos del mapa ya que el valor máximo oscila en las 8 t/ha. Los mayores rendimientos se sitúan en el centro del estado manteniéndose un gradiente hacia los valles, que es la parte donde se esperaría que los rendimientos fueran más bajos. En promedio los rendimientos oscilan en las 5 t/ha.

Realizando la modelación y estableciendo la fecha de siembra en el mes de Junio, Figura 5.4.6, la situación se mantiene similar como se puede apreciar en la siguiente figura donde se expone la situación histórica vs lo proyectado. Respecto a los rendimientos estos ligeramente aumentan en algunos sitios, sin embargo en algunos decrecen, por mencionar un ejemplo: para Santiago Papasquiario en el mes de Mayo la modelación arrojó un rendimiento de 6.5 t/ha y para el mes de Junio se redujo a 5.9 t/ha, esta situación se presentó por mencionar algunos otros casos en Tepehuanes, Topia y Canatlán.

Por mencionar un ejemplo donde los rendimientos incrementaron, se presenta el caso de Guanaceví; en Mayo resultó con un rendimiento de 6.9 t/ha mientras que en Junio se incrementa 7.5 t/ha; en la estación Peña del Águila de 7.0 a 7.4 t/ha, entre otros. Los aumentos son variables modificando la fecha de siembra, y los cuales oscilan alrededor de 0.3-0.6 t/ha de rendimiento. Ahora lo anterior obedece a los escenarios de precipitación que se obtuvieron y en base a la matriz con las probabilidades condicionales de lluvia que fueron ingresadas al modelo de cultivo.

Por último para evaluar el impacto modificando la fecha de siembra y manteniendo los demás parámetros constantes, se realizó la modelación estableciendo la fecha de siembra en el mes de Julio, ya que este es la fecha límite para establecerla, según el CEVAG (2005).

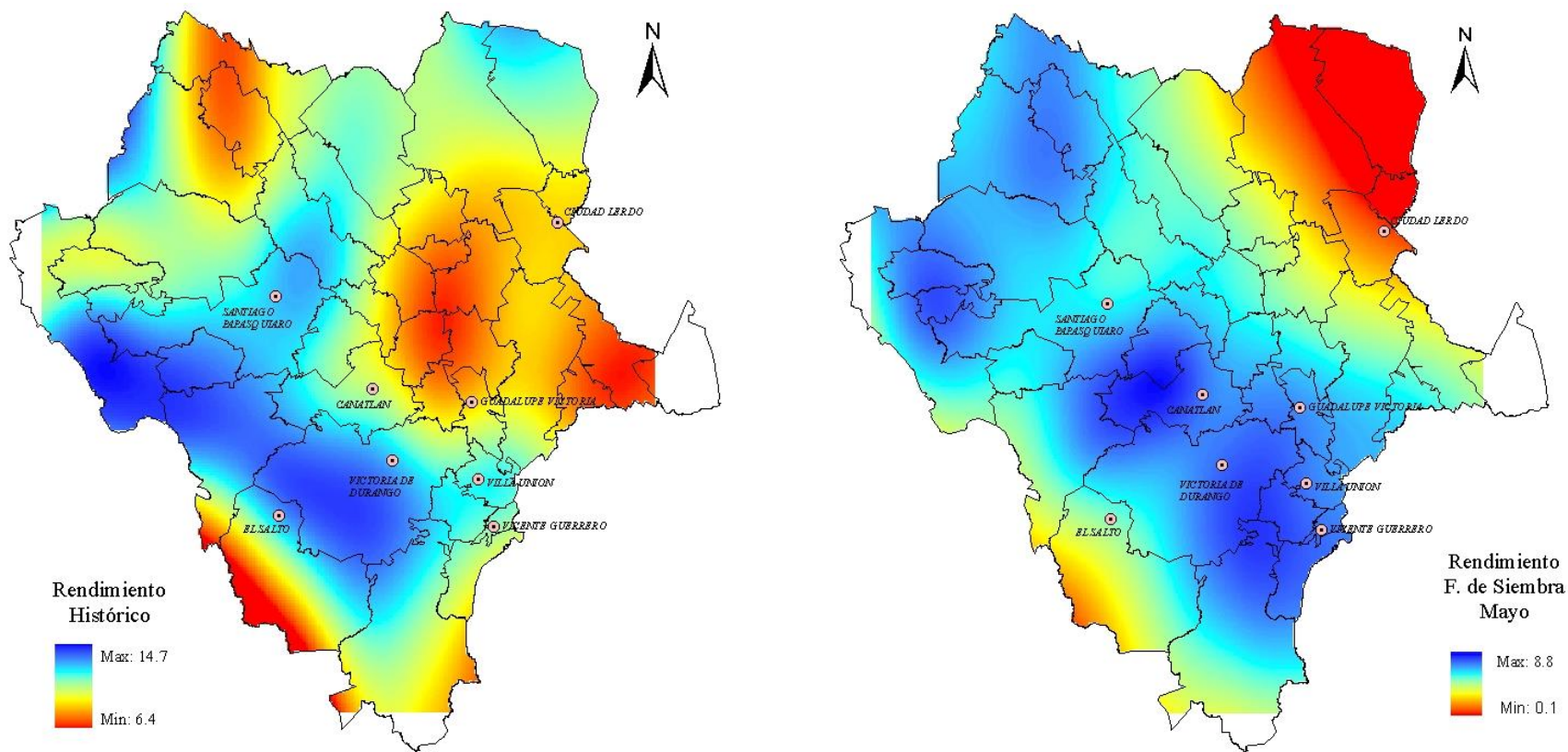


Figura 5.4.5 Mapa de rendimiento histórico de Avena Forrajera de temporal vs proyectado con fecha de siembra en el mes de Mayo

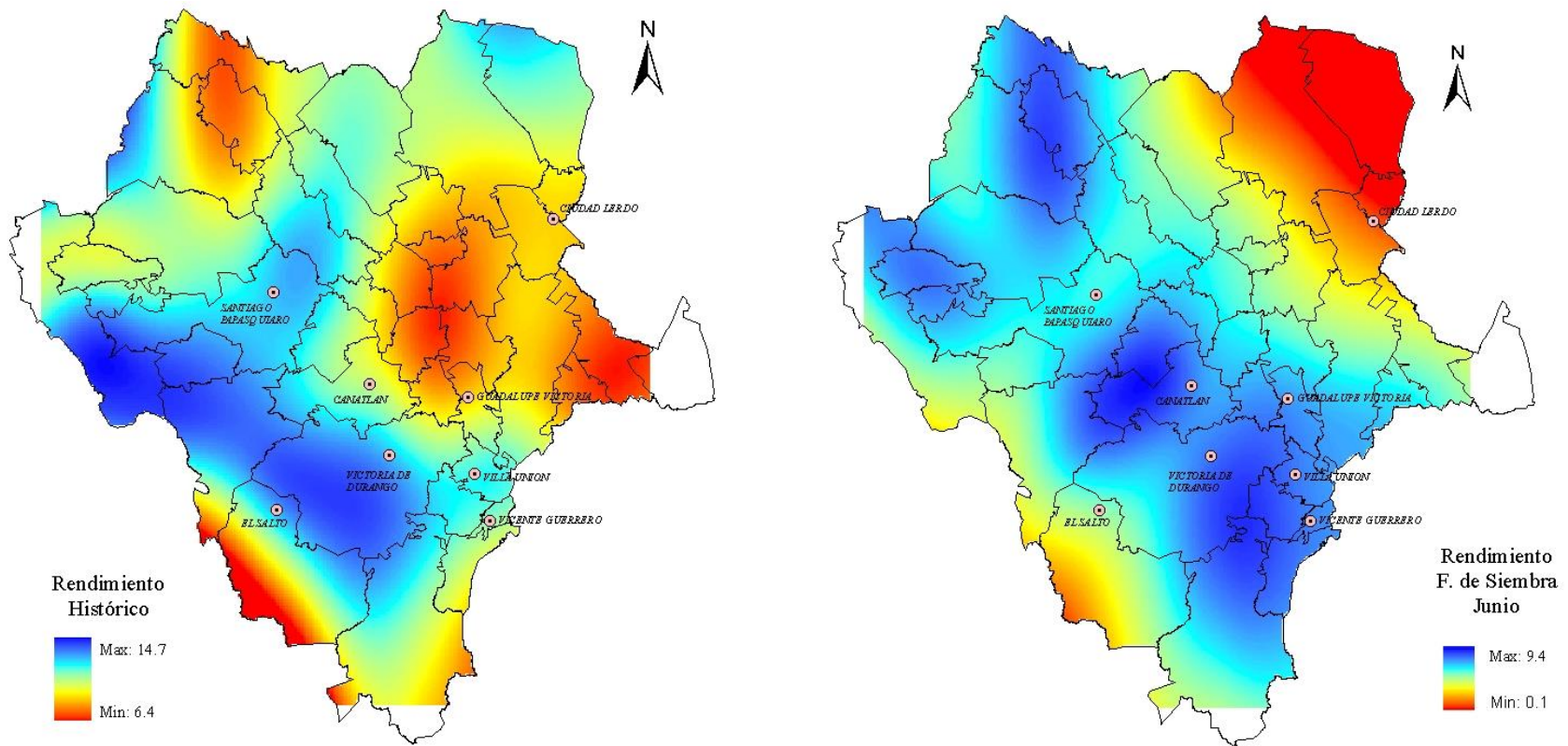


Figura 5.4.6 Mapa de rendimiento histórico de Avena Forrajera de temporal vs proyectado con fecha de siembra en el mes de Junio

Al establecer la fecha de siembra en el mes de Julio, Figura 5.4.7, el gradiente de distribución de los rendimientos se mantiene similar al mes de Junio, ya que algunos sitios incrementan los rendimientos, más sin embargo en otros decrecen, como punto de partida puede ser el rango de valores de la distribución en el mapa.

En los sitios que mejoran la productividad los valores oscilan alrededor de 0.2–0.3 t/ha, mismo rango de valores en el cual decrece. Como ejemplo de sitio que mejora su rendimiento en el mes de Julio se tiene El Pino, en Canatlán el cual mejora el rendimiento de 8.2 t/ha a 8.9, El Pueblito en Durango que pasa de 7.2 a 7.8 t/ha, Francisco I madero de 7 a 7.6 t/ha y como ejemplo de reducción se tiene a Canelas el cual tuvo un rendimiento en el mes de Mayo de 7.9 t/ha pero que en los meses de Junio y Julio decreció hasta 6.7 t/ha.

Como se puede apreciar en los mapas las zonas de altos rendimientos se modifican acentuándose ahora en solo unos sitios y no con una distribución espacial uniforme, es decir las zonas productivas se reducen, mientras que las zonas de bajo potencial se incrementan. Se sigue manteniendo la parte alta del estado como la zona en donde se espera sigan los mejores rendimientos, y la parte baja o de los valles se reduce drásticamente la producción. Es decir, se presenta un gradiente de disminución de las partes altas a las partes bajas a lo largo del estado.

Aunque los rendimientos se incrementan o se reducen conforme se modifica la fecha de siembra, los rendimientos modelados están por debajo de lo observado históricamente, lo cual nos demuestra que el cultivo de la Avena Forrajera cultivada en condiciones de temporal se espera según los escenarios generados y las simulaciones realizadas se vean afectados de forma negativa. Para ver los valores de forma más puntual referirse al Anexo 5.4.1, en el anexo 5.4.5 se enlistan los mapas de temperatura, precipitación y rendimiento observados y bajo condiciones de Cambio Climático con sus coordenadas geográficas, a excepción de los mapas de anomalías.

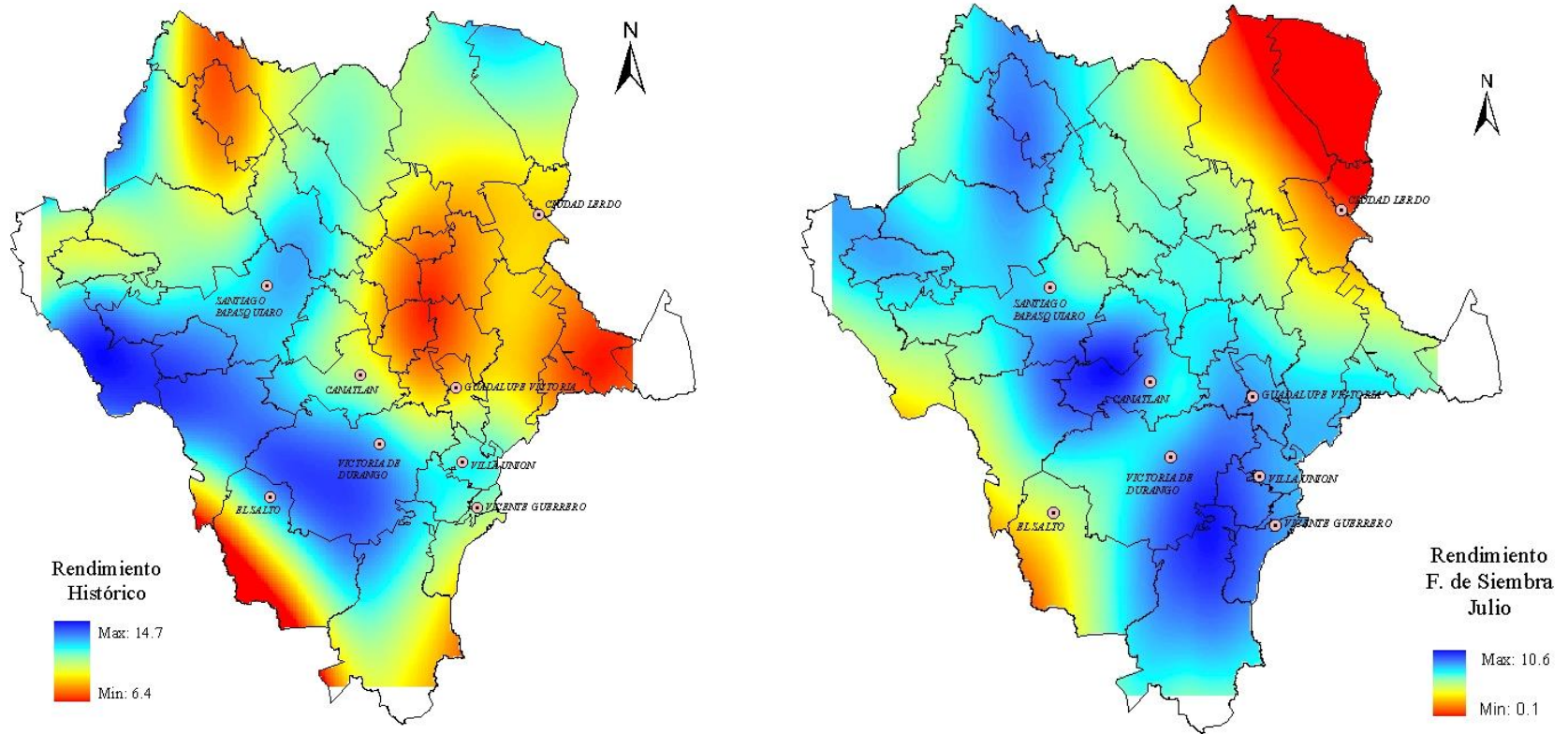


Figura 5.4.7 Mapa de rendimiento histórico de Avena Forrajera de temporal vs proyectado con fecha de siembra en el mes de Julio

5.4.9 Conclusiones de la vulnerabilidad de la Avena Forrajera

En el estado de Durango, la vulnerabilidad a eventos extremos de clima es considerable debido a que gran parte del territorio es semiárido, por lo cual los cambios en la temporada de lluvias resultan como una de las principales amenazas para la producción de cultivos que se desarrollan en condiciones de temporal.

En el caso de la Avena Forrajera en esta modalidad hídrica, se espera sufra impactos negativos en el rendimiento, lo cual varía dependiendo de cuando se establezca la fecha de siembra, ya que para algunos sitios incrementa y para otros disminuye dependiendo la distribución de la precipitación. Sin embargo, de los escenarios de rendimiento simulados, en las tres diferentes fechas de siembra, los rendimientos fueron negativos. Basado en lo anterior, para la parte noreste del estado, denominada los Valles, los rendimientos prácticamente se reducen de 10 a cinco t/ha, es decir un efecto drástico en la viabilidad de producción. Cabe mencionar que para esta zona no hubo mucha disponibilidad de información respecto a los rendimientos observados, ya que sólo Cuencamé en base al SIAP, es el único que reporta superficie sembrada.

Referente a la parte sur-sureste del estado, los resultados arrojan un decremento en el rendimiento que oscila del 40 al 50% del rendimiento observado, lo que indica que esta parte del estado tendría impactos negativos de producción. Los rendimientos en esta parte del estado decrecen o aumentan variando la fecha de siembra, pero siempre por debajo del rendimiento observado histórico. Respecto a la parte oeste del estado presenta la misma tendencia de disminución de los rendimientos, los municipios incluidos se espera disminuyan en promedio cinco t/ha respecto al rendimientos observado.

En lo que respecta a la parte noroeste de estado, los resultados arrojan un decremento en el rendimiento que oscila de los tres a cuatro t/ha, para los municipios de Guanaceví, Tepehuanes, San Bernardo, entre otros. La región conocida como de la Sierra, aunque presenta variaciones tanto positivas como negativas modificando la fecha de siembra, siempre están por debajo del rendimiento promedio observado. En la región conocida de los valles, el rendimiento esperado es aún más drástico pues se reduce de un 60 a un

85% del promedio observado. Los resultados arrojan una disminución en el rendimiento en todo el estado de Durango, lo que sitúa a la Avena de temporal, altamente vulnerable bajo los supuestos de los escenarios de clima generados en el estudio.

Desafortunadamente se tiene la idea de que un pronóstico tiene que predecir exactamente cuándo y cuánto lloverá para que permita tomar una decisión, lo cual científicamente no es viable ni posible debido al carácter caótico del clima. Sin embargo la utilización de herramientas que permitan evaluar los posibles efectos del clima a escala regional o local, se convierten en una pieza clave para realizar estudios de impacto y de vulnerabilidad, pero que no solucionan de manera lineal la situación ambiental que sucede en la actualidad.

Por lo tanto, sería deseable contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como con diagnósticos precisos de la vulnerabilidad que permitan construir valoraciones dinámicas del riesgo. Sin embargo, se debe tener claro que los escenarios no son del todo precisos dada la variabilidad natural del clima, sumado a la actividad humana que repercute considerablemente en el proceso.

CAPÍTULO VI

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GEI

6.1 Contexto nacional e internacional de emisiones de GEI

De acuerdo con las cifras reportadas por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), en el periodo 1990-2009, México incrementó sus emisiones de CO₂ en un 50.9%, aproximación sectorial (IEA, 2011). Además las toneladas de CO₂ emitidas por Terajoules consumido se aumentó en un 5.8% y por ende las emisiones per cápita se incrementaron en un 14.1%. En términos generales, para México, sus entidades federativas, regiones y municipios, la necesidad de establecer estrategias que garanticen el suministro energético y a su vez reduzcan las emisiones de CO₂ en todas las escalas geográficas, se ha convertido en una tarea imperativa para todos los gobernantes tomadores de decisión.

Las tendencias de energía y emisiones de CO₂ globales, obtenidas en base al escenario inicial y del BLUE Map (2050) comparados con 2007, se muestran en la Figura 6.1. Al año 2050 puede observarse que el 38% de reducción de emisiones es atribuible a la mejora de las eficiencias en el uso final de electricidad y de combustibles. En el escenario BLUE Map (OCDE-IEA,2010) se estableció una meta de reducción al 50% las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía para el 2050 (comparadas con los niveles del 2005); y además se examinó el costo mínimo para alcanzar la meta mediante el despliegue de

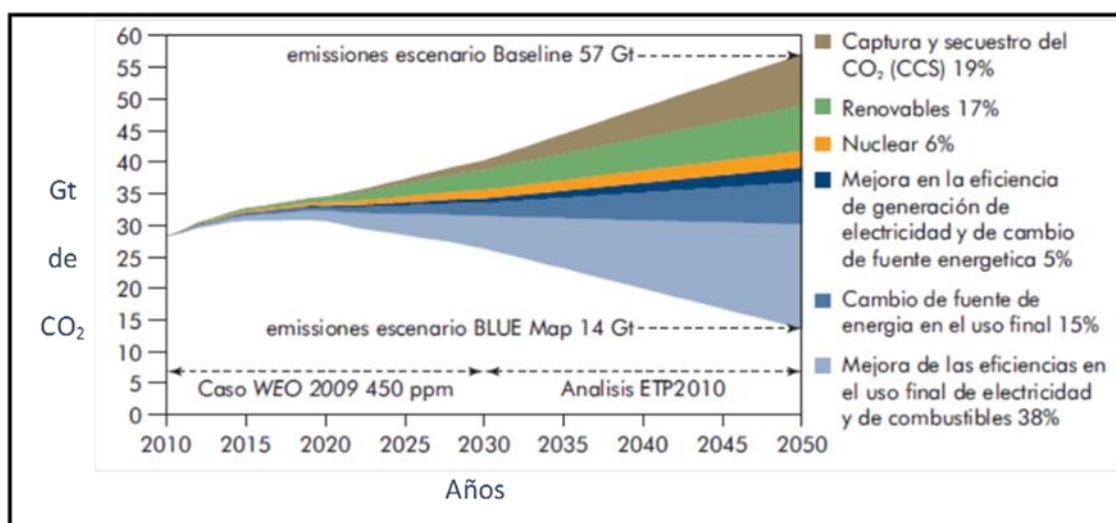


Figura 6.1 Tecnologías clave para reducir emisiones de CO₂ conforme al escenario del BLUE Map

las tecnologías nuevas y las existentes, con bajas emisiones de carbono. Al conjunto combinado de acciones enfocadas a reducir las emisiones de CO₂ en el contexto regional estatal, país y mundial se le conoce como mitigación. Específicamente, el IPCC (2002) define a la mitigación como la intervención antropogénica para reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero mediante la reducción del uso de combustibles fósiles, la reducción de las emisiones provenientes de zonas terrestres mediante la conservación de grandes yacimientos dentro de los ecosistemas, y/o el aumento del régimen de recogida de carbono por parte de los ecosistemas.

Según las proyecciones de la Prospectiva Ambiental 2030 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) pronostican que, bajo el escenario tendencial, las emisiones globales de GEI ascenderán a 71.4 Giga toneladas (Gt) de CO₂ eq. al 2050 y, al tomar en cuenta que la población mundial se estabilizará en una cifra cercana a los 9,200 millones de habitantes al 2050 (UNDP, 2007), las emisiones per cápita alcanzarían, entonces, un promedio de 7.8 t CO₂ eq. por año. Sin embargo, si se cumpliera la predicción demográfica y la hipótesis de limitación de las emisiones globales a mediados de siglo que refiere la OCDE, el promedio mundial de emisiones per cápita en el año 2050 sería de 2.785 t CO₂ eq./hab/año, cerca de 60% menos que a principios de siglo.

Las emisiones per cápita de México (6.54 t CO₂ eq./hab/año) se encuentran en la actualidad a un nivel bastante próximo al promedio mundial. Se espera que la población de México pase de 98.44 millones en el año 2000 a 121.86 millones en el año 2050 (CONAPO, 2006). Si nuestro país asumiera como meta indicativa para el año de referencia un emparejamiento con el promedio mundial de emisiones per cápita antes indicado, las emisiones mexicanas de GEI no deberían sobrepasar entonces los 339.4 megatoneladas (Mt) CO₂ eq. Para alcanzar este nivel de emisiones a mediados de siglo se necesitaría una reducción de 47.3% respecto a las emisiones del año 2000, que se han estimado en 643.6 Mt CO₂ eq.

6.2 Mitigación de emisiones de GEI

Entiéndase por mitigación a todas aquellas actividades realizadas por el hombre para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de las actividades humanas (antropogénicas) y fomentar los sumideros que permitan la captura de bióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero de la atmósfera (INE, 2011).

Cabe destacar que la mitigación incluye la variación y sustitución de tecnologías que reducen la utilización de insumos y las emisiones por unidad de producción. Aunque también es cierto que se requiere de la aplicación de varias políticas sociales, económicas y tecnológicas; lo cual conduciría a la reducción de las emisiones en relación con el Cambio Climático (IPCC, 2007).

México, en su calidad de país No Anexo I, ha realizado esfuerzos continuos para cumplir con sus compromisos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), entre los que se encuentran las acciones de mitigación (SEMARNAT, 2009) y ha mantenido una política de desarrollo nacional consistente con una decidida acción para mitigar las emisiones de GEI.

A la fecha se han propuesto diversas opciones que pueden contribuir a la reducción de las emisiones de GEI y que aplican a muchas regiones del territorio nacional. Algunas de estas se citan a continuación:

- ✓ Uso de energías renovables: eólica, solar e hidroeléctrica.
- ✓ Uso de combustibles con bajo contenido de carbono como el gas natural.
- ✓ Reducción de las emisiones de metano y de óxido nitroso, cuyo potencial de calentamiento global (CH₄ = 21 y N₂O = 310) es mucho mayor al del bióxido de carbono, en la agricultura por medio de acciones como labranza de conservación.
- ✓ Reforestación y restauración de bosques.
- ✓ Mejora en la eficiencia energética en transporte, procesos de fabricación y construcción.

- ✓ Minimización de las emisiones de gas fluorado en procesos industriales y servicios de refrigeración.

Las acciones de mitigación deben ser medidas planificadas, financiadas e implementadas para reducir las emisiones de GEI provenientes de fuentes claves específicas. También existen medidas de mitigación que van encaminadas a reducir emisiones a través de la captura mediante sumideros naturales de carbono, como por ejemplo los bosques. Establecer metas cuantificables de reducción de emisiones trae consigo la oportunidad de poder acceder a esquemas de financiamiento y por ende incorporar un atractivo económico a la política de mitigación.

Según el reporte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 2011), la mayor proporción de financiamiento dirigido a Cambio Climático (93 billones de dólares americanos, USD, de un total de 97 billones) es destinado a medidas de mitigación; únicamente una pequeña parte se encamina a acciones de adaptación. El financiamiento de medidas de mitigación es mayormente el resultado de capital invertido en medidas de energías renovables. La adaptación es predominantemente financiada a través de instituciones bilaterales (3.6 billones de USD), seguida de instituciones multilaterales (475 millones de USD) e instituciones voluntarias/filantrópicas (210 millones de USD). Una cantidad relativamente pequeña (65 millones de USD) es proporcionado por fondos dedicados a adaptación.

Por otro lado, el financiamiento de medidas de mitigación proviene del sector privado (55 billones de USD) en forma de inversión de capital. Las instituciones bilaterales y multilaterales aportan 19 y 14 billones de USD, respectivamente. Los fondos dedicados a mitigación aportaron 2.4 billones de USD. Mientras que la mayoría de las financiadoras aportan a inversión de capital, el mercado de compensaciones proporciona 2.2 billones de USD en financiamiento de los costos incrementales. Finalmente, las contribuciones voluntarias/filantrópicas proporcionaron 240 millones de USD.

En el contexto nacional, por ejemplo en materia de eficiencia energética, desde 1990 el país cuenta con el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), un fideicomiso privado sin fines de lucro, que con la participación de los sectores público, social y privado,

impulsa acciones y programas para fomentar el ahorro de energía eléctrica, al mismo tiempo que promueve el desarrollo de una cultura de uso eficiente de este recurso.

6.3 Análisis de la proyección de emisiones de GEI y su mitigación para el estado de Durango

Las emisiones anualizadas promedio, determinadas con base al periodo 2005-2008 sin considerar la categoría USCUSyS, para el estado de Durango fueron de 15,634.03 Gg de CO₂ eq. (Tabla 2.2), lo que corresponde a 10.19 t CO₂ eq. per cápita por año, considerando que para el periodo se tuvo una población promedio en el estado de 1,534,560 habitantes (INEGI, 2010). De acuerdo a las emisiones de GEI proyectadas linealmente, bajo la consideración que se siguiera un comportamiento de crecimiento poblacional y del PIB similar al actual, se espera que para el 2016 se alcancen emisiones del orden de 27,035.20 Gg de CO₂ eq. Según datos del periodo evaluado su tendencia queda representada por la Ec. 6.1, en donde, x representa el número de año ($x = 1, 2, 3, \dots, n$) y y representa las emisiones anuales.

$$y = 1,200.1x + 12,634 \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Aplicando la Ec. 6.1 hasta el año 2016 ($n = 12$), se obtuvo una proyección de las emisiones con un incremento del 75.8%, es decir una Tasa de Crecimiento Anual (TCA) promedio anual de 4.8% (Figura 6.2).

Considerando que el estado se propusiera una meta de mitigación a corto plazo, en el periodo restante de la presente administración gubernamental, de alcanzar una reducción de sus emisiones del 20% al 2016; para ello sería necesario tener un decremento de su TCA del 4.04% a partir del 2013, obteniéndose una nueva línea de tendencia para las emisiones de GEI mitigadas como se observa en la Figura 6.2. Las emisiones de GEI proyectadas, acumuladas en el periodo 2013-2016 fueron del orden de 100,940.2 Gg de CO₂ eq. y la disminución de emisiones de GEI equivaldría a 20,193.33 Gg de CO₂ eq.

Para alcanzar dicha meta, sería necesario que se aplicaran medidas de mitigación a todas y cada una de las categorías y sus respectivos sectores, considerando que deberán reducir sus emisiones en la misma proporción con la que contribuyen. La reducción de

emisiones por categoría y sectoriales anualizadas, para alcanzar la meta global trazada, pueden observarse en la Tabla 6.1.

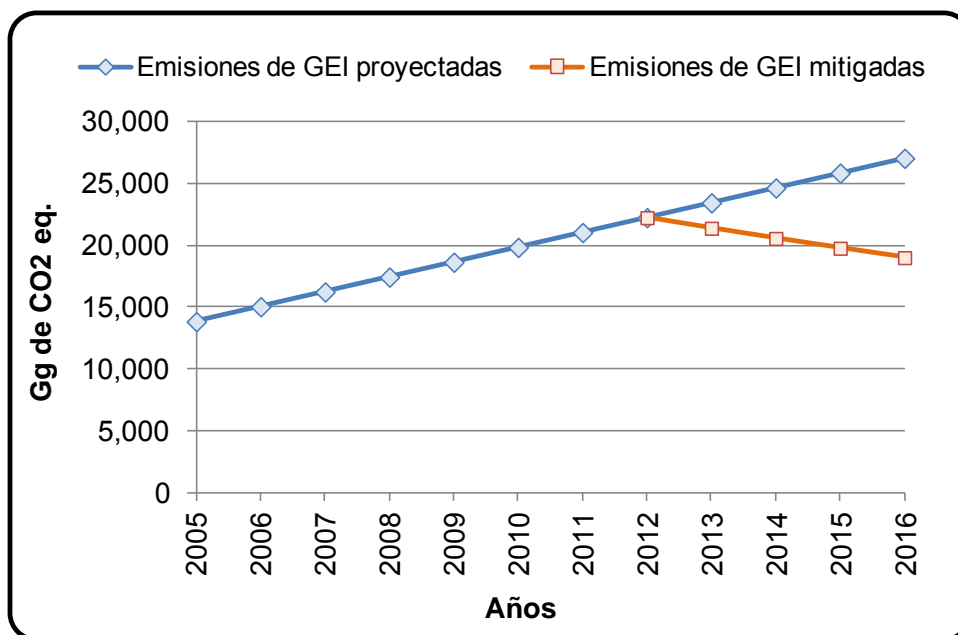


Figura 6.2 Tendencia de las emisiones de GEI proyectadas y mitigadas

Tabla 6.1 Reducción de emisiones por categoría y sector para alcanzar la meta al 2016					
Categoría/Sector	Emisión anual en Gg de CO ₂ eq.				Totales
	2013	2014	2015	2016	
ENERGÍA	1,504.74	2,943.84	4,400.14	5,876.54	14,725.25
Industria de la Energía	585.74	1,145.94	1,712.83	2,287.54	5,732.05
Industrias de Manufactura y Construcción	336.32	657.97	983.46	1,313.45	3,291.20
Transporte	558.51	1,092.66	1,633.19	2,181.18	5,465.55
Residencial, Comercial y de Servicios	24.16	47.27	70.66	94.36	236.45
PI&S	115.46	225.89	337.64	450.92	1,129.91
Industria de los Minerales	7.34	14.37	21.48	28.68	71.87
Industria de los Metales	108.12	211.52	316.16	422.24	1,058.04
AGRICULTURA	351.74	688.13	1,028.54	1,373.65	3,442.06
Agrícola	37.66	73.69	110.14	147.09	368.58
Ganadería	314.07	614.44	918.41	1,226.56	3,073.49
DESECHOS	91.57	179.15	267.77	357.62	896.11
Residuos sólidos	47.73	93.38	139.58	186.41	467.10
Aguas residuales	43.84	85.77	128.20	171.21	429.01

6.4 Medidas de mitigación de emisiones de GEI propuestas por categoría

En esta sección se enlistan las medidas de mitigación recomendadas a juicio de los expertos del grupo de trabajo del PEACC-Durango. Sin embargo, cabe destacar que estas no son las únicas que deberían explorarse y/o implementarse, ya que sin lugar a dudas existen otras más que deberían emanar de la experiencia de los directamente relacionados con los sectores.

Los criterios empleados para jerarquizar las medidas de mitigación de basaron en:

- 1) Que provenga de una fuente clave emisora de mayor contribución en emisión de GEI.
- 2) Que la acción propuesta sea viable jurídicamente (atribución del estado, que el marco jurídico la permita)
- 3) Que sea prioritaria por su importancia clave en el sector, ya sea que esté incorporada en una dependencia de gobierno, sector privado o cámara.
- 4) Que sea viable su implementación técnica.
- 5) Que sea económicamente factible su implementación.
- 6) Que cuente con co-beneficios económicos y sociales (salud, empleos verdes).
- 7) Que sea recomendada por los expertos del CICC-Durango.
- 8) Que este vinculada con programas federales, estatales o municipales ya existente, para que faciliten su viabilidad.

A continuación se describen las acciones de mitigación propuestas para el estado de Durango, ordenándolas por categoría y fuente de emisión. Para cada caso se describe una acción u objetivo planteado y las estrategias específicas para alcanzarlo.

6.4.1 Acciones de mitigación: Categoría ENERGÍA

6.4.1.1 Fuente clave de emisión: Transporte

Las acciones de mitigación de la subcategoría transporte (AT_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación ($EMT_{i,j}$) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AT1: Fomentar la actualización y modernización de infraestructura vial en las principales ciudades del estado de Durango.

- ➡ EMT1-1: Rediseñar y construir vías rápidas en las principales ciudades para agilizar el tráfico vehicular.
- ➡ EMT1-2: Construir rutas de transporte público con carriles confinados donde circulen autobuses de gran capacidad u otros sistemas de transporte colectivo urbano y suburbano eficiente, eficaz y económico con el fin de reducir el número de unidades en circulación.
- ➡ EMT1-3: Rediseñar vialidades para la incorporación de ciclo pistas y vialidades peatonales, con cobertura arbórea nativa.
- ➡ EMT1-4: Desarrollar un proyecto de sincronización automática de semáforos inteligentes para disminuir los tiempos muertos de espera.

AT2: Fomentar la actualización y modernización de infraestructura de transporte público colectivo de las principales ciudades del Estado.

- ➡ EMT2-1: Desconcentración del transporte público urbano en las ciudades de Gómez Palacio y Durango (medida inicial de diseño de rutas).
- ➡ EMT2-2: Revisar el estado que guardan las unidades de los sistemas de transporte colectivo existente e incentivar de forma gradual el uso de vehículos con tecnologías alternativas (hidrógeno, eléctricos o de aire comprimido).
- ➡ EMT2-3: Convenir el desarrollo de programas de transporte colectivo a colegios e instituciones de gobierno.

AT3: Fomentar el cumplimiento y/o actualización de la Normatividad de Transporte automotor terrestre.

- ▶ EMT3-1: Revisar la ley de vialidad y su reglamento relacionado con el transporte público en relación a las zonas autorizadas de abordaje de los pasajeros. Lo cual ayudaría a minimizar el número de paradas que realiza el transporte colectivo, disminuyendo el consumo de combustible.
- ▶ EMT3-2: Revisar y actualizar el padrón de concesiones de transporte público para evaluar la necesidad real del transporte.
- ▶ EMT3-3: Revisar los acuerdos de mejora de servicio y sus avances entre gobierno y permisionarios del transporte público.
- ▶ EMT3-4: Efectuar revisión vehicular para transporte público así como privado para actualizar y aplicar la normatividad y estándares de emisiones de los vehículos.
- ▶ EMT3-5: Establecer un programa de actualización del parque vehicular particular mediante la sustitución de automóviles sedan obsoletos.

AT4: Fomentar el uso de transportes alternos públicos y privados en las principales ciudades del Estado.

- ▶ EMT4-1: Desarrollar un programa para fomentar el uso de la bicicleta en el centro de la ciudad de Durango y en las principales arterias viales.
- ▶ EMT4-2: Desarrollar un proyecto para ver la posibilidad de emplear motonetas como transporte colectivo en el centro de la ciudad.

6.4.1.2 Fuente clave de emisión: Generación y Uso de Energía Eléctrica

Las acciones de mitigación de la subcategoría Industria de Generación de Energía (AGUE_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación (EMGUE_{i,j}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AGUE1: Mejoramiento de la eficiencia energética y/o transición a energías alternas

- ▶ **EMGUE1-1:** Fortalecer el programa nacional de ahorro energético en fuentes de consumo mediante el uso de focos ahorradores, lámparas ahorradoras, celdas solares en vivienda, edificios, parques y alumbrado público.
- ▶ **EMGUE1-2:** Impulsar programas para la instalación y uso de sistemas de generación eléctrica que aprovechen los recursos energéticos renovables disponibles en el estado (solar, eólica, etc.).
- ▶ **EMGUE1-3:** Promover la eficiencia en el consumo de energía eléctrica (EE) en edificios públicos, escuelas, hospitales, centros recreativos, etc.

AGUE2: Reanalizar la reglamentación de construcción de edificios y viviendas para transformarlas en unidades energéticamente eficientes.

- ▶ **EMGUE2-1:** Revisar la reglamentación relativa a la construcción de vivienda de interés social, así como en edificios gubernamentales para que se incorporen aspectos técnicos relacionados con el ahorro de energía.
- ▶ **EMGUE2-2:** Crear un programa de incentivos para fomentar el uso de la autogeneración de energía eléctrica de fuentes alternas para viviendas rurales e industrias con alto consumo de energía eléctrica.
- ▶ **EMGUE2-3:** Promover la construcción adquisición de viviendas, a través de la CONAVI, que garanticen el uso eficiente de la energía eléctrica.
- ▶ **EMGUE2-4:** Adoptar el programa para el desarrollo de unidades habitacional sustentable ante el Cambio Climático.

6.4.1.3 Fuente clave de emisión: Industria de la Manufactura y Construcción

Las acciones de mitigación de la subcategoría Industria de la manufactura y construcción (AIMC_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación (EMIMC_{i,j}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AIMC1: Promover la eficiencia energética en el sector industrial para reducir las emisiones de GEI

- ➡ EMIMC1-1: Adquirir y/o modificar la tecnología de los equipos que requieren quemar combustibles en el proceso.
- ➡ EMIMC1-2: Reducir las emisiones de GEI mediante la implantación de programas de Fideicomiso para el ahorro de Energía Eléctrica (Fide) en la industria y Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MIPYMES).
- ➡ EMIMC1-3: Reducir las emisiones de GEI mediante la implantación de programas de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) en el sector industrial.
- ➡ EMIMC1-4: Sustitución de combustibles fósiles por gas natural u otras formas de energías renovables (secado por energía solar).
- ➡ EMIMC1-5: Fomentar en el sector industrial la cogeneración de EE.

6.4.2 Acciones de mitigación: Categoría AGRICULTURA

6.4.2.1 Fuente clave de emisión: Agrícola

Las acciones de mitigación de la subcategoría Agrícola (AA_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación ($EMA_{i,j}$) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AA1: Reducir el uso de energía de combustibles fósiles.

- ➡ EMA1-1: Reducir la labranza de suelos.
- ➡ EMA1-2: Programación de los sistemas y distritos de riegos.
- ➡ EMA1-3: Emplear sistemas de secado por energía solar.

AA2: Actualizar las tecnologías de producción agrícola.

- ➡ EMA2-1: Reducir el uso de fertilizantes químicos mediante el fomento del uso de tipos, dosis y formas adecuadas de aplicación de fertilizantes químicos acorde a las necesidades de los cultivos.
- ➡ EMA2-2: Prohibir el uso del amoniaco anhidro como fertilizante en la agricultura.
- ➡ EMA2-3: Fomentar tecnologías enfocadas a la labranza de conservación.
- ➡ EMA2-4: Desarrollar la implementación de incentivos para la producción agrícola orgánica e impulsar su desarrollo (abonos, mejoradores de suelo, fertilizantes foliares).

AA3: Aumentar el almacenamiento de C en tierras agrícolas.

- ➡ EMA3-1: Mejorar el tratamiento de residuos, consecuentemente se requiere prohibir la quema de vegetación natural y residuos de cosecha e incentivar a los productores para que realicen incorporación de residuos de cosecha.
- ➡ EMA3-2: Reducir la labranza y actividades de tumba-roza-quema.
- ➡ EMA3-3: Restablecer la productividad de suelos degradados.

6.4.2.2 Fuente clave de emisión: Ganadería

Las acciones de mitigación de la subcategoría Ganadería (AG_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación (EMG_{i,j}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AG1: Mejorar la gestión de animales rumiantes.

- ➡ EMG1-1: Aumentar la digestibilidad de los alimentos mediante tratamientos físicos del forraje para desarrollar dietas que permitan la disminución de las emisiones de metano.

- ➡ EMG1-2: Fomentar el uso de aditivos en la alimentación del ganado (ionóforos, levaduras, bacterias celulíticas).
- ➡ EMG1-3: Promover la mejora de la genética y fertilidad, para reducir el número de cabezas de reemplazo y otros animales no productivos.
- ➡ EMG1-4: Crear proyectos de conservación y recuperación de la cobertura vegetal en áreas de pastoreo.
- ➡ EMG1-5: Promover los tratamientos físicos del forraje para desarrollar dietas que permitan la disminución de las emisiones de metano.
- ➡ EMG1-6: Crear proyectos de conservación y recuperación de la cobertura vegetal en áreas de pastoreo.
- ➡ EMG1-7: Impulsar la salud preventiva, para aumentar la producción animal por área y disminuir la incidencia de enfermedades.

AG2: Adoptar prácticas de gestión de estiércol para la captura de CH₄.

- ➡ EMG2-1: Lagunas cubiertas y generadoras de biomasa
- ➡ EMG2-2: Proyectos de instalación y modernización de infraestructura y equipos para el tratamiento y aprovechamiento de excretas en explotaciones ganaderas intensivas.
- ➡ EMG2-3: Incentivar el uso de estiércoles para la producción de abonos orgánicos compostados y aprovechamiento del metano (CH₄) para la producción de energía.

6.4.3 Acciones de mitigación: Categoría DESECHOS

Las acciones de mitigación de la categoría Desechos (AD_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación (EMD_{i,j}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AD1: Optimizar los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos e industriales.

- ▶ EMD1-1: Prohibir la disposición de los residuos sólidos a cielo abierto en todo el Estado.
- ▶ EMD1-2: Fomento de la clasificación *in situ* de los desechos domésticos e industriales, entre orgánicos e inorgánicos, adecuándolo a los requerimientos de cada municipio en el estado.
- ▶ EMD1-3: Fomentar la cultura de reducción, re-uso y reciclado en mejora del medio ambiente basado en la filosofía de las 4 R's: Reusar, Reciclar, Reducir y Repensar.
- ▶ EMD1-4: Fomentar la creación de rellenos sanitarios eficientes intermunicipales y sistemas de aprovechamiento de biogás para generar electricidad o quemar el biogás para evitar emisiones de metano.
- ▶ EMD1-5: Promover la transformación y uso de los desechos orgánicos en el hogar y al mismo tiempo aprovecharlos con fines productivos (hortalizas) y de embellecimiento urbano (jardinería).
- ▶ EMD1-6: Estudiar la factibilidad para la creación de un centro de compostaje industrial para el procesamiento de desechos de origen doméstico, esquilmos de jardinería.

AD2: Optimizar los sistemas de gestión de las aguas residuales y lodos de las PTAR.

- ▶ EMD2-1: Incrementar el número de plantas de tratamiento de aguas en el estado tratando de cubrir la mayor cantidad de municipios o en su caso fomentar la creación de sistemas de tratamiento de aguas residuales intermunicipales.
- ▶ EMD2-2: Fomentar el empleo de sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales para uso domiciliario, pequeñas y medianas comunidades.
- ▶ EMD2-3: Evitar y en su caso, prohibir las descargas de las aguas residuales, domésticas e industriales, hacia los bienes nacionales (suelo y agua), mediante

estudios sobre el impacto de estas descargas en los recursos con el fin de disminuir su descarga en afluentes de ríos y corrientes de agua.

- ▶ EMD2-4: Aprovechar los lodos generados en estos procesos para la generación de fertilizantes orgánicos y verificar la factibilidad de usar las aguas tratadas para su uso en riegos agrícolas.

6.4.4 Acciones de mitigación: Categoría PROCESOS INDUSTRIALES Y SOLVENTES

Las acciones de mitigación de la categoría Procesos Industriales y Solventes (APIS_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación (EMPIS_{i,j}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

APIS1: Impulsar la transformación a nuevas tecnologías y procesos productivos.

- ▶ EMPIS1-1: Revisar los protocolos del proceso de las industrias que utilizan gases como el CO₂ en sus procesos de producción para atenuar emisiones fugitivas.
- ▶ EMPIS1-2: Impulsar medidas para que las industrias de la extracción a cielo abierto de minerales metálicos y no metálicos reduzcan sus emisiones de polvos suspendidos (otros compuestos GEI).
- ▶ EMPIS1-3: Sustitución de los solventes empleados como diluyentes en pintura, lacas, barnices y todos aquellos productos donde se utilizan.
- ▶ EMPIS1-4: Utilización de sustancias químicas producidas con materiales vegetales.
- ▶ EMPIS1-5: Reciclado/reutilización de materiales.

6.4.5 Acciones de mitigación: Categoría USCUSyS

6.4.5.1 Fuente clave de emisión: Bosques

Las acciones de mitigación de la subcategoría Bosques (AB_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación ($EMB_{i,j}$) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AB1: Reducción de emisiones por deforestación.

- ➡ EMB1-1: Planear un esquema de actividades para contribuir con una meta de disminución de la deforestación en el estado.
- ➡ EMB1-2: Mejorar las técnicas de explotación forestal
- ➡ EMB1-3: Mejorar la utilización de productos maderables reduciendo desechos y reciclado.
- ➡ EMB1-4: Impulsar programas de reforestación.
- ➡ EMB1-5: Creación y/o mejoramiento de programas de manejo integral del fuego (prevención, detección, control, restauración y uso).
- ➡ EMB1-6: Desarrollar programas participativos en los mercados de carbono.

6.4.5.2 Fuente clave de emisión: Reservas naturales

Las acciones de mitigación de la subcategoría Reservas Naturales (ARN_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias de mitigación ($EMRN_{i,j}$) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

ARN1: Conservación de ecosistemas forestales protegidos y almacenes de carbono.

- ➡ EMRN1-1: Mejorar los mecanismos de conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), así como fomentar la creación de nuevas áreas de conservación.

- ▶ EMRN1-2: Crear políticas e instrumentos de financiamiento que incentiven la plantación, manejo, aprovechamiento, transformación y comercialización de productos (maderables y no maderables) de manera sustentable.

6.5 Análisis de la propuesta de actualización de parque vehicular particular, como medida de mitigación de emisiones de GEI, para el sector Transporte

En este apartado se hace un análisis, como un ejercicio académico, de la estrategia EMT3-5 que sugiere establecer un programa de actualización del parque vehicular particular, mediante la sustitución de automóviles sedan obsoletos.

De acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se considera que los autos obsoletos son todos aquellos que cuentan con más de 10 años de vida (Mendoza *et al*, 1992). En concordancia con la situación económica regional se decidió aceptar como auto obsoleto aquellos que tengan más de 15 años de vida.

Para alcanzar una meta de reducción significativa se propone sustituir de manera gradual, en el periodo 2012-2030, el 50% de los automóviles sedán obsoletos que emplean gasolina, por automóviles nuevos con una mayor eficiencia en su funcionamiento. La metodología consistió en contabilizar la cantidad de vehículos tipo sedán registrada en el padrón vehicular en el estado para el periodo 2005-2008 y jerarquizarlos por modelo y tipo de automóvil. En la Tabla 6.2 se presenta únicamente el padrón de autos sedan 2005-2008.

Tabla 6.2 Padrón vehicular tipo sedán del estado de Durango		
Año	Total de automóviles	Autos obsoletos (Antigüedad > 15 años)
2005	161,744	54,346
2006	165,788	55,705
2007	169,932	57,097
2008	174,181	58,525

Fuente: Dirección de Recaudación de Secretaría de Finanzas y de Administración del estado de Durango. www.finanzas.durango.gob.mx.

Se realizó una proyección del padrón vehicular considerando una TCA del 2.5% (evaluado con los datos históricos 2005-2008) para el periodo 2012-2030, además se determinaron las emisiones en Gg de CO₂ eq. provenientes del lote de automóviles sustituidos (nuevos y obsoletos), empleando el software LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System).

Para el cálculo de las emisiones de autos nuevos se empleó una eficiencia promedio de 5.32 MJ/km, mientras que la de un automóvil obsoleto (> 15 años de vida¹) se definió una eficiencia del orden de 6.65 MJ/km, en ambas situaciones se asumió un recorrido promedio anual de 20,000 km. En la Tabla 6.3 se describe la proyección acumulativa del parque vehicular, la proyección acumulativa del parque vehicular obsoleto y las emisiones acumulativas correspondientes.

Como resultado de la propuesta se deberán reemplazar 50,388 autos sedan durante el periodo 2012-2030 a razón de 2,652 autos/año. Para evaluar las emisiones de los autos reemplazados se calcularon las tasas de emisión vehicular: autos nuevos igual a 7.36 t CO₂/auto-año y autos obsoletos de 9.2 t CO₂/auto-año. Consecuentemente, la medida traerá una reducción de emisiones de 92.71 Gg de CO₂ eq.

Todos los estudios recientes sobre la economía del Cambio Climático coinciden en destacar que la mitigación que pudiera poner un límite razonable al incremento de la temperatura superficial promedio es costeable, se puede emprender con tecnologías ya conocidas y sus costos sería muy inferiores a los denominados “costos de inacción”, es decir, aquellos en los que se tendrá que incurrir para atender los impactos económicos, sociales y ambientales como resultado de la ausencia de políticas oportunas de mitigación (PECC, 2009). McKinsey (2008) reporta en sus resultados preliminares un costo de -80 hasta +60 €/t CO₂ eq.; todo ello sin perjuicio para el crecimiento económico.

¹ Según el “Estudio de pesos y dimensiones de los vehículos que circulan sobre las carreteras mexicanas” (Mendoza *et al.*, 1992), menciona que la eficiencia de un automóvil obsoleto puede disminuir en un 50%, por consideraciones del grupo de trabajo se decidió tomar una disminución del 25%.

Tabla 6.3 Proyección vehicular acumulativa y sus emisiones de GEI para el estado de Durango, aplicación de la estrategia EMT3-5

Año	Total de automóviles (Eficiencia de 5.32 MJ/km)	Emisiones Gg CO₂ eq.	Autos obsoletos > 15 años (Eficiencia de 6.65 MJ/km)	Emisiones Gg CO₂ eq.
2012	192,263	1,415.55	64,600	594.32
2013	197,069	1,450.94	66,215	609.18
2014	201,996	1,487.21	67,871	624.41
2015	207,046	1,524.39	69,567	640.02
2016	212,222	1,562.50	71,307	656.02
2017	217,528	1,601.56	73,089	672.42
2018	222,966	1,641.60	74,917	689.24
2019	228,540	1,682.64	76,789	706.46
2020	234,254	1,724.71	78,709	724.12
2021	240,110	1,767.83	80,677	742.23
2022	246,113	1,812.02	82,694	760.78
2023	252,265	1,857.32	84,761	779.80
2024	258,572	1,903.76	86,880	799.30
2025	265,036	1,951.35	89,052	819.28
2026	271,662	2,000.14	91,278	839.76
2027	278,454	2,050.14	93,561	860.76
2028	285,415	2,101.39	95,899	882.27
2029	292,551	2,153.93	98,297	904.33
2030	299,864	2,207.78	100,754	926.94
AUTOS SUSTITUIDOS	50,388	370.86	50,388	463.57
REDUCCIÓN DE EMISIONES EN Gg de CO₂ eq.				92.71

El Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono (SENDECO₂, 2012) en su reporte del mes de noviembre 2012 establece un costo promedio de 7.72 €/t CO₂ en el mercado de los Estados Unidos de América. Considerando este precio de mercado, la medida de mitigación tendría una ganancia por venta de \$715,721.2 €; es decir \$11,974,015.68 pesos mexicanos, considerando una tasa de cambio de 16.74 pesos/€.

CAPÍTULO VII

ACCIONES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

7.1 Retos y oportunidades de acciones de adaptación al Cambio Climático

El Cambio Climático tendrá indudablemente un impacto sobre el medio ambiente y los sectores socioeconómicos (recursos hídricos, agricultura, seguridad alimentaria, salud humana, ecosistemas terrestres, biodiversidad y zonas costeras). El aumento de la temperatura del planeta, provoca el deshielo de glaciares que causa inundaciones, además del desplazamiento de las estaciones de cosecha, lo que afecta la seguridad alimentaria y cambios en la distribución de enfermedades por vectores poniendo en riesgo a la población de enfermedades como la malaria y el dengue. También los incrementos en temperatura aumentarán potencialmente la razón de extinción de hábitat y especies (hasta en un 30% con incremento de temperatura promedio de 2°C) (UNFCCC, 2007).

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC, 2007) identifica medidas, precisa posibilidades y rangos de reducción de emisiones, propone estudios necesarios para definir metas concretas de mitigación y esboza las necesidades del país para avanzar en la construcción de las capacidades de adaptación.

Uno de sus objetivos en materia de vulnerabilidad al Cambio Climático establece: *“Reconocer la vulnerabilidad de los respectivos sectores y áreas de competencia e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación”*.

El Marco de Políticas de Adaptación (MPA) a mediano plazo establece cuatro principios a partir de los cuales pueden desarrollarse acciones de adaptación (PNUD, 2005):

- *Se incluye la adaptación a la variabilidad climática y a los eventos extremos a corto plazo como base para reducir la vulnerabilidad al Cambio Climático a largo plazo. A medida que los usuarios se preparan para la adaptación a corto, mediano y largo plazo, el MPA les ayuda a basar firmemente sus decisiones en las prioridades del presente.*

- *Las políticas y las medidas de adaptación se evalúan en un contexto de desarrollo. Al hacer que las políticas sean la parte central de la adaptación, el MPA desvía el*

enfoque de los proyectos individuales de adaptación como respuesta al Cambio Climático y lo orienta hacia una integración fundamental de la adaptación en los procesos claves de políticas y planificación.

- ▶ *La adaptación ocurre a distintos niveles en la sociedad, los cuales incluyen el nivel local.* El MPA combina la formulación de políticas a nivel nacional con un enfoque pro activo de manejo de riesgos “de abajo hacia arriba”. Le permite al usuario concentrarse y responder a las prioridades clave de adaptación, ya sea a una escala nacional o de comunidad.

- ▶ *Tanto la estrategia como el proceso mediante el cual se implementa la adaptación son igualmente importantes.* El MPA le da mucho énfasis a la participación general de las partes interesadas, ya que se consideran esenciales para impulsar cada etapa del proceso de adaptación.

En concordancia con la política nacional en materia de Cambio Climático, el grupo técnico del PEACC-Durango, identificó la vulnerabilidad de los sectores y zonas del estado en base a la información disponible de amenazas que impactan y riesgos que afectan al estado, los resultados obtenidos han sido descritos en el capítulo 4 de este documento.

Una estrategia de adaptación es un documento “viviente” ya que el proceso no termina con el desarrollo de la estrategia, al contrario, marcará el comienzo de una nueva etapa en la cual las lecciones aprendidas al implementar el enfoque retroalimentarán la estrategia para mejorarla con el transcurso del tiempo. Esta estrategia debe incluir mecanismos de flexibilidad para abordar los cambios repentinos en el clima que con seguridad ocurrirán en el futuro, así como también debe tomar en cuenta las nuevas tecnologías y los avances en el campo del Cambio Climático.

La estrategia de adaptación para un estado o región se refiere a un plan general de acción para abordar los impactos de los cambios climáticos, incluyendo variabilidad y extremos climáticos. Incluirá una mezcla de políticas y medidas con el objetivo global de reducir la vulnerabilidad del estado. Según las circunstancias, la estrategia puede ser detallada a nivel estatal, de modo que aborde la adaptación a través de sectores, regiones y

poblaciones vulnerables, o puede ser más limitada, que se enfoque sólo en uno o dos sectores o regiones (PNUD, 2005).

Los retos inherentes a la implementación de medidas adaptación estriban en: a) recursos económicos, b) recursos humanos capacitados, c) establecer criterios de evaluación y seguimiento, d) franquear barreras políticas, sociales y culturales, f) establecer un sistema de jerarquización. Es decir, implementar medidas de adaptación requiere de un cambio en los procesos, prácticas y estructuras sociales, políticas y económicas.

Las oportunidades de adaptación, aparentemente son pocas, pero en realidad los beneficios de adaptación son inmensos pues no únicamente se trata de disminuir la vulnerabilidad para reducir el impacto ambiental, económico, social, etc. de los eventos meteorológicos extremos; sino también implica aprender una nueva cultura de vida que implica respeto a la naturaleza, a los ecosistemas y al planeta.

7.2 Acciones de adaptación al Cambio Climático propuestas por sectores

La vulnerabilidad del estado reportada en el capítulo IV, establece que los sectores Hídrico y Agricultura son las más vulnerables seguidas de los otros sectores; Salud, Ecosistemas, USCUS, Industrial, Doméstico y Ganadería. Idealmente se hubiese querido que al menos se realizara un estudio por cada sector y que éste a su vez fuera representativo de todas las regiones del estado. Sin embargo, por cuestiones de tiempo y capacidades en el área del conocimiento, los estudios se acotaron a lo que fue posible desarrollar por los investigadores de la región.

En esta sección se enlistan las acciones de adaptación recomendadas por el grupo técnico del PEACC-Durango; sin embargo, esto no limita la oportunidad de aportar nuevas medidas al contrario abre una ventana para que investigadores, técnicos especialistas, e incluso actores directos sectoriales que conocen a fondo la problemática de su entorno para incluir nuevas e incluso mejores acciones de adaptación.

Con el objeto de tener congruencia de interpretación en las propuestas, la metodología seguida para establecer acciones de adaptación consistió en hacer uso de:

- Los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad sectorial (capítulo IV)
- Los estudios de vulnerabilidad específicos (capítulo V)
- El análisis de en reportes afines, nacionales e internacionales
- Una clasificación sectorial, en donde las acciones no han sido evaluadas en su viabilidad técnica y/o factibilidad económica

La planeación de las acciones de adaptación está pendiente, pues implica un trabajo integral en donde participen tanto el comité técnico-académico, la comisión intersecretarial de CC del estado (CICC), representantes de sectores y Organizaciones No Gubernamentales (ONG's).

7.2.1 Acciones de adaptación: Sector HÍDRICO

El Cambio Climático adiciona una dimensión extra a lo que convencionalmente sucede en el sector hídrico ya que se maximizan los requerimientos de disponibilidad y demanda de agua. Por el lado de disponibilidad, ésta se verá afectada debido al cambio en los patrones de lluvias con mayores implicaciones en temas concernientes a protección ante inundaciones, sequía, producción de alimentos y subsistencia de todos los sistemas de vida basados en el agua. Mientras que por el lado de la demanda, el calentamiento global incrementará la necesidad por el agua y también se aumentará la velocidad de evaporación desde la superficie de las plantas y de los cuerpos de agua como son lagunas y lagos (UNFCCC, 2006).

Los escenarios climáticos futuros muestran que la Pp max en 24h en la RH Nazas-Aguanaval tendrá una disminución del 2.6% en la cuenca alta y del 19% en la cuenca media; mientras que para la RH Sinaloa, se espera una disminución del 8% (sección 3.3.3).

Las acciones de adaptación propuestas en el sector Hídrico (AH_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias (EAH_{ij}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AH1: Garantizar la disponibilidad de agua para todos los sectores.

- ➡ EAH1-1: Proteger las fuentes subterráneas de agua.
- ➡ EAH1-2: Proteger y conservar las áreas de captura de agua.
- ➡ EAH1-3: Fomentar la conservación de áreas de bosques principalmente en las cuencas altas y las zonas de captación de agua.
- ➡ EAH1-4: Identificar las zonas más vulnerables a eventos hidro-meteorológicos extremos, así como las zonas principales de captación de agua de las cuencas para priorizar acciones de conservación y restauración.
- ➡ EAH1-5: Implementar un programa de desazolve y mantenimiento de las presas y arroyos en cuencas para mejorar el almacenamiento y cauce de escurrimientos del agua de lluvia.
- ➡ EAH1-6: Impulsar el proyecto de manejo integral y sustentable del agua en cuencas y acuíferos. Por ejemplo, proyecto de agua futura.
- ➡ EAH1-7: Regulación en la perforación de pozos, que reduzcan la extracción y abatimiento de los mantos acuíferos.
- ➡ EAH1-8: Impulsar proyectos de cosecha de agua subterránea y de lluvia.
- ➡ EAH1-9: Promover el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hídrico.
- ➡ EAH1-10: Desarrollar un sistema de control de inundaciones y monitoreo de lluvia, para disminuir los riesgos y atender los efectos de inundaciones y sequías.
- ➡ EAH1-11: Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.

AH2: Garantizar la demanda de agua para todos los sectores.

- ➡ EAH2-1: Fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- ➡ EAH2-2: Mejorar la administración y mantenimiento de los sistemas de suministro de aguas existentes.
- ➡ EAH2-3: Reformar las políticas del agua incluyendo precios, políticas de irrigación y uso.
- ➡ EAH2-4: Mejorar e impulsar el uso de agua reciclada en la producción agrícola.
- ➡ EAH2-5: Desarrollar proyectos para la recolección y usos de aguas grises en casa habitación.
- ➡ EAH2-6: Mejora de la infraestructura de suministro: corregir fugas, reemplazar tuberías viejas.

7.2.2 Acciones de adaptación: Sector AGRICULTURA

Aún las variaciones menores de clima pueden propiciar impactos considerables en la producción agrícola, en una simple estación; por consiguiente, a largo plazo la productividad agrícola y la seguridad alimentaria se verá afectada por el Cambio Climático venidero. La preocupación mundial establece que para los siguientes 30 años la producción de alimentos deberá duplicarse para poder alimentar la población creciente del planeta (UNFCCC, 2006).

La escasez de alimentos en el país cada vez se hace más evidente, por ejemplo en el 2009, en el país se produjeron 39.8 millones de toneladas de los diez principales granos y oleaginosas, lo cual satisfizo únicamente el 69.6% de la demanda nacional (SEMARNAT, 2009).

Todo esto concuerda con lo que sucede en el estado de Durango en donde la producción de básicos en los años recientes se ha visto afectado bajando considerablemente sus rendimientos como consecuencia de la escasez de agua pluvial (sequía). Recordemos que el estado es productor de maíz y frijol y que convencionalmente son cosechados bajo condiciones de temporal (ver capítulo V).

En la actualidad, en el estado de Durango la temperatura máxima media anual oscila alrededor de los 26.3 °C, en la regionalización proyectada el escenario arrojó una temperatura de 27.4 °C para los próximos 30 años, por lo cual dicha temperatura se espera incremente 1.1 °C respecto a las condiciones actuales. En lo que se refiere a la temperatura mínima promedio anual, el estado se mantiene cercano a los 8.9 °C; y el escenario producido arrojó una temperatura promedio de 9.2 °C, por cual en promedio se espera que la temperatura mínima incremente 0.3 °C (sección 5.2).

Las acciones de adaptación propuestas en el sector agricultura (AA_i) están acompañadas de un conjunto de estrategias (EAA_{ij}) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AA1: Modificar la topografía del suelo para mejorar el aprovechamiento del agua y reducir la erosión eólica.

- ➔ EAA1-1: Promover la subdivisión de campos de cultivos grandes.
- ➔ EAA1-2: Construir y mantener canales de césped.
- ➔ EAA1-3: Construir cortinas rompe vientos.

AA2: Mejorar el uso del agua y su disponibilidad además de controlar la erosión del suelo.

- ➔ EAA2-1: Revestir los canales de riego con películas plásticas.
- ➔ EAA2-2: Concentrar la irrigación en periodos de crecimiento pico.
- ➔ EAA2-3: Usar irrigación por goteo o Implementar nuevos sistemas de riego.
- ➔ EAA2-4: Modificar la técnica de crianza de ganado de agostadero, por ej. retomar el pastoreo.
- ➔ EAA2-5: Impulsar el uso de las cercas vivas, a fin de reducir el estrés calórico y que además son fuente de forraje para la alimentación del ganado sobre todo durante la sequía.

AA3: Cambiar las técnicas de cosecha para conservar la humedad y los nutrientes, reducir los escurrimientos y el control de la erosión de suelo.

- ➡ EAA3-1: Cambios de variedad de cultivos de temporal
- ➡ EAA3-2: Evitar el mono cultivo
- ➡ EAA3-3: Usar plantaciones de baja densidad
- ➡ EAA3-4: Emplear soportes en el suelo de rastrojo y paja
- ➡ EAA3-5: Cambiar los usos de fertilizantes químicos y su aplicación.
- ➡ EAA3-6: Modificar los tiempos de plantación y cosecha utilizando los pronósticos climáticos.
- ➡ EAA3-7: Selección de cultivos agrícolas resistentes a sequía y a características del suelo.
- ➡ EAA3-8: Impulsar el uso de buenas prácticas para el uso y manejo del agua (tecnologías de riego, nivelación de terrenos, eficiencia en la conducción de agua) en la producción agrícola.

AA4: Generación y divulgación de información climática regional para mejorar la producción agrícola.

- ➡ EAA4-1: Fomentar el intercambio de información entre las instancias gubernamentales, la sociedad civil y las instituciones académicas agropecuarias, sobre investigaciones relacionadas con los efectos del Cambio Climático en los distintos sectores de la sociedad.
- ➡ EAA4-2: Realizar un inventario y monitoreo regional de producción de los principales cultivos del estado y sus posibles efectos ante el Cambio Climático, basándose en los escenarios regionalizados realizados por el programa, a fin de prevenir posibles afectaciones a los cultivos.
- ➡ EAA4-3: Identificar las zonas aptas para el desarrollo de cada una de las actividades productivas en base al ordenamiento territorial, los escenarios climáticos y ordenamientos de cuencas y sub-cuencas.
- ➡ EAA4-4: Otorgar las facilidades para la distribución y elaboración de bases de datos climáticas y de recursos naturales generadas a través de estaciones

meteorológicas instaladas en el estado. En este caso sería conveniente promover la reactivación o instalación de estaciones climatológicas en el sur del estado para generar más información climática a través de la entidad.

7.2.3 Acciones de adaptación: sector USCUSyS

Un efecto directo del Cambio Climático es el aumento potencial de la evapotranspiración, lo que genera, dependiendo de la fisiología de cada especie forestal, estrés hídrico; además pueden presentarse otros factores indirectos como son mayor incidencia de plagas y enfermedades, aumentos en el potencial de incendios forestales y disminución en la polinización, entre otros.

El incremento de temperatura y precipitación ha favorecido el aumento en el ciclo de vida de las plagas forestales, especialmente en bosques templados y selvas. Bajo Cambio Climático se podrían presentar hasta tres ciclos adicionales de vida al año, con respecto a las condiciones actuales.

La biodiversidad y los ecosistemas del país manifiestan síntomas de un impacto antropogénico, que ha sido agudo en el último medio siglo. La deforestación, sobreexplotación y contaminación de los ecosistemas, la introducción de especies invasoras y el Cambio Climático son causas directas de la pérdida de capital natural.

Las acciones de adaptación propuestas en el sector USCUSyS (AU_i) propuestas están acompañadas de un conjunto de estrategias ($EAU_{i,j}$) sugeridas para poder alcanzar la meta establecida.

AU1: Disminuir la pérdida de la masa forestal y contribuir a la conservación de los bosques y ecosistemas en el estado.

- ➡ EAU1-1: Disminuir las tasas actuales de deforestación, mediante acciones de mantenimiento de obras ya existentes, construcción de nuevas obras y ejecución de obras de conservación de suelo y agua.
- ➡ EAU1-2: Reforzar los programas que implican acciones de reforestación y pago de servicios ambientales.
- ➡ EAU1-3: Incrementar especies nativas en los programas de reforestación para los diferentes ambientes del estado.
- ➡ EAU1-4: Usar información de pronósticos climáticos para programar campañas de reforestación.
- ➡ EAU1-5: Introducción de cortinas rompe-vientos en la periferia de las ciudades.
- ➡ EAU1-6: Mantener y promover campañas de reforestación urbana.
- ➡ EAU1-7: Promover la conservación de la biodiversidad y recursos hídricos para asegurar la resiliencia y buen funcionamiento de los ecosistemas.
- ➡ EAU1-8: Promover la agroforestería para mejorar los productos forestales y los servicios.
- ➡ EAU1-9: Desarrollar/mejorar el programa estatal o regional de manejo y control de incendios forestales.

7.2.4 Acciones de adaptación: Sector SALUD

Aún cuando no se realizó un estudio específico de vulnerabilidad para este sector, el análisis general sectorial reveló un índice de riesgo/beneficio de -11 lo que lo califica como bastante vulnerable (sección 4.1). Los estudios de morbilidad para México identificaron cambios en las incidencias de enfermedades infecciosas gastrointestinales debido a incremento en la temperatura y humedad principalmente, su incremento promedio es del 1.7% por aumento de 1°C (Ibarrarán y Rodríguez, 2007). En base a lo expuesto se proponen las siguientes acciones de adaptación.

ASA1: Prevención y detección de síntomas de enfermedades

- ➡ EAS1-1: Reforzar las campañas de saneamiento y brigadas de salud.
- ➡ EAS1-1: Sistematizar campañas de prevención de enfermedades por ondas de calor y temperaturas extremas a fin de crear en la población conciencia sobre el beneficio de consumir agua potable, hervida o clorada e instruir mediante educación en salud la manera apropiada de llevar a cabo dichas acciones.
- ➡ EAS1-1: Instrumentar sistemas de alerta temprana para la detección de síntomas de enfermedades como deshidratación e insuficiencia renal aguda.
- ➡ EAS1-1: Identificar cuáles son las principales causas de deshidratación para poder prevenirlas, así como el clima y temporada del año que propicia la aparición de la misma.
- ➡ EAS1-1: Instruir a la población acerca de la importancia del manejo de alimentos, su desinfección y cocción. Indicar el manejo adecuado de agua para consumo humano, mediante educación para la salud.

7.2.5 Acciones de adaptación: Sector SOCIAL

Para este sector tampoco se realizó un estudio específico de vulnerabilidad, sin embargo, el análisis general sectorial reveló un índice de riesgo/beneficio de -10 lo que lo califica como vulnerable (sección 4.1). Bajo este sustento se proponen las siguientes acciones de adaptación.

ASO1: Adecuación y construcción de la infraestructura

- ➡ EASO1-1: Desarrollar y/o adecuar infraestructura para asentamientos que actualmente se consideran más vulnerables (establecidos en márgenes de arroyos y sequias).

- ➡ EASO1-2: Fomentar el pago por servicios ambientales aplicados en áreas estratégicas, que ayudarán a comunidades que viven en pobreza extrema o marginadas.
- ➡ EASO1-3: Explorar la opción de mecanismos de compensación de pérdidas por siniestros climáticos, como fondos de emergencia climática, fideicomisos, seguros internacionales, con el fin de tener acceso a recursos en casos de emergencias a eventos climáticos como lo fue la sequía.

ASO2: Fomento de las capacidades científicas y de conocimiento básico sobre CC.

- ➡ EASO2-1: Continuar, profundizar y mejorar los estudios para proyecciones de los escenarios climáticos y los riesgos asociados (tendencias de sequías, inundaciones, etc.).
- ➡ EASO2-2: Otorgar las facilidades para la distribución y elaboración de bases de datos climáticas, y de recursos naturales generadas a través de estaciones meteorológicas instaladas en el estado.
- ➡ EASO2-3: Desarrollar estudios para identificar los efectos actuales y potenciales de Cambio Climático en la salud humana.
- ➡ EASO2-4: Generar una base de datos con información sobre tendencias de la vulnerabilidad climática y adaptación en los diversos municipios del estado.
- ➡ EASO2-5: Desarrollar estudios para identificar los efectos actuales y potenciales de Cambio Climático en la economía.
- ➡ EASO2-6: Implementar programas de desarrollo social que provean de información y capacitación, para enfrentar los problemas del Cambio Climático.
- ➡ EASO2-7: Realizar un programa de sensibilización en medios masivos de comunicación dirigido a la población para la reducción de su propia vulnerabilidad a los impactos de eventos hidro-meteorológicos extremos o de sequía.

- ▶ EASO2-8: Fomentar el intercambio de información entre las instancias gubernamentales, la sociedad civil y las instituciones académicas en investigaciones relacionadas con los efectos del Cambio Climático en los distintos sectores de la sociedad.

- ▶ EASO2-9: Implementar campaña intensiva de cultura del agua en toda la población, para su ahorro y uso eficiente, a fin de disminuir su escasez producto del desperdicio.

CAPÍTULO VIII

CONSIDERACIONES FINALES Y LOGROS DEL PROYECTO

8.1 Implementación de medidas de mitigación y acciones de adaptación

8.1.1. Consideraciones iniciales

Las medidas de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), aplicadas a las fuentes claves que han resultado de los inventarios de emisiones de GEI; así como, las propuestas de adaptación al cambio climático originados de los estudios de vulnerabilidad, tienen un problema en común: falta concretar acciones locales coordinadas entre la sociedad y las distintas entidades (Torres-Rojo, 2011; INE-SEMARNAT, 2011).

La juventud de los PEACC's¹, quizás sea la razón de la demora en la implementación de las medidas de mitigación y acciones de adaptación, pero testimonios de responsables de varios PEACC's ya concluidos, plantean que las acciones tanto en materia de mitigación, como en adaptación se han topado con dificultades de diverso tipo: unas vinculadas a la parte económica en su implementación, y otras con el enfoque imperante sobre el modo de hacer negocios: el beneficio económico por encima de todo (Welch, 2011).

Lo cierto es que los efectos locales del cambio climático en las distintas regiones de México, ante la vulnerabilidad identificada y reconocida en diversos estudios (UN-AGENDA 21, 1992; GREENPEACE, 2010; Montes-León et al., 2011), alcanzan un costo promedio para los últimos años de 6.22 % del PIB nacional, con una tendencia creciente a lo largo del presente siglo en diversas actividades económicas tales como el sector agropecuario, el sector hídrico, el cambio de uso de suelo, la biodiversidad, el turismo, la infraestructura y la salud de la población (Galindo, 2009).

8.1.2. Nuestra visión del PEACC-Durango

El proceso de investigación para la integración del PEACC del Estado de Durango donde han participado investigadores de las diversas instituciones enclavadas en el territorio

¹Los PEACC's inician por primera vez en 2006 con el Estado de Veracruz, año y medio después inicia Nuevo León y en 2008 una docena de Estados inicia con la elaboración de sus PEACC's (INE-SEMARNAT, 2009).

estatal, no debe concluir con la entrega del documento técnico, sino que trae consigo tres momentos para su implementación, desarrollo y consolidación.

8.1.3. El Reto: ¿Cómo empezar?

Efectivamente, el reto es como empezar. Afortunadamente el PEACC-Durango es un instrumento, del que se espera sirva de guía para cometer la menor cantidad de errores. Muchas de las propuestas que se plantean en este documento podrían considerarse de sentido común, pero el sentido común también dice que no es lo mismo cuando las propuestas están sustentadas con datos de referencia.

Los tres momentos ya mencionados (implementación, desarrollo y consolidación) que se esperan del PEACC-Durango, como tal deberá ser evaluado como lo dictan las ciencias administrativas, pero sin visiones ortodoxas y teniendo en una alta consideración el bienestar de la sociedad y la protección del medioambiente, igualmente en tres momentos: *ex-ante*, proceso y *ex-post*, cuyas características son las siguientes:

Evaluación ex-ante:

Se efectúa antes de la aprobación del proyecto y busca conocer su pertinencia, viabilidad y eficacia potencial. Este tipo de evaluación consiste en seleccionar de entre varias alternativas técnicamente factibles a la que produce el mayor impacto al mínimo costo (Aramburú, 2001). Este tipo de evaluación supone la incorporación de ajustes necesarios en el diseño del PEACC-Durango, lo cual podría generar incluso los cambios relacionados con los grupos beneficiarios, su jerarquía de objetivos y el presupuesto, en los casos que lo amerite.

Evaluación de proceso:

También conocida como de medio término o continua. Se hace mientras el proyecto se va desarrollando y guarda estrecha relación con el monitoreo del proyecto. Permite conocer en qué medida se vienen logrando los objetivos (resultados en caso de marco lógico); en relación con esto, una evaluación de este tipo debe buscar aportar al perfeccionamiento

del modelo de intervención empleado y a identificar lecciones aprendidas. Las fuentes financieras suelen requerir la realización de este tipo de evaluación para ejecutar los desembolsos periódicos.

Evaluación ex-post:

Se realiza cuando culmina el proyecto. Se enfoca en indagar el nivel de cumplimiento de los objetivos; asimismo busca demostrar que los cambios producidos son consecuencia de las actividades del Programa, ya sea exclusivamente por las acciones de este o en interacción con otras fuentes. No solo indaga por cambios positivos, también analiza efectos negativos e inesperados.

8.1.4. Tres ideas básicas para empezar

La manera que se sugiere proceder, independientemente del proceso de evaluación antes descrito, comprende tres etapas:

Etapa 1. Presentación y evaluación Técnico-Científica del PEACC-Durango

Esta etapa forma parte del compromiso suscrito con las entidades financiadoras del Programa y concluye cuando los expertos estatales y nacionales, tanto de la SEMARNAT y del INE ven resueltas las dudas técnicas que pudieran surgir del informe técnico.

Etapa 2. Pre implementación: Consulta Pública

La segunda etapa requiere establecer una estrategia de consulta pública para que el documento fuera criticado abiertamente por la sociedad civil y comunidad científica. Después se recopilaría la crítica, se analizaría y de ser recomendable se reincorporaría al documento original; bajo un enfoque de mejora continua, esta etapa se considera fundamental como parte de un proceso de retroalimentación.

Etapa 3. Arranque: Implementación

La tercera etapa implica la incorporación de otros elementos para poder conformar una estrategia integrada de implementación, por lo que es necesario:

- Que el ejecutivo de las instrucciones pertinentes, al Secretario de Recursos Naturales y Medio Ambiente, para que la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del estado (CICC-Durango) sesione bajo una agenda de trabajo atendiendo los resultados establecidos en el PEACC-Durango.
- Conformar un comité de asesoría técnico-científico que sirva de apoyo al CICC-Durango.
- Establecer una agenda de trabajo entre la comisión y el comité para revisar el documento técnico PEACC-Durango, entenderlo, razonarlo, y conformar un calendario estratégico de trabajo.
- Crear sinergias con actores a nivel municipal: jefes políticos (alcaldes y ayuntamientos), sociedad en general y grupos académicos.
- Asignación de acciones en base a su jurisdicción o área de trabajo, en el entendido de que debe plantearse una estrategia de implementación.
- Conformar un Plan Estratégico de Cambio Climático Estatal a corto, mediano y largo plazo (ej. 2013, 2016, 2022). Establecer en este, las metas regionales y/o estatales de reducción de emisiones de GEI y acciones de adaptación sectoriales al CC; así como, las estrategias de financiamiento compartido, externo de tipo nacional e internacional e incluir un sistema de seguimiento y monitoreo de los proyectos establecidos.

8.2 Recomendaciones y tareas pendientes

- Es necesario realizar el inventario al menos cada tres años, lo que implica que en el 2012 se deberá trabajar la serie 2009-2011.

- Rehacer los escenarios climáticos y de emisiones de GEI considerando información de mejor calidad y empleando modelos que impliquen una mayor certidumbre.
- Realizar estudios para identificar los impactos climáticos regionales.
- Realizar estudios de vulnerabilidad regional con una cobertura total territorial y sectorial.
- Conformar una RED estatal de Cambio Climático
- Realizar un programa de socialización del PEACC-Durango
- Mantener el desarrollo de capacidades locales mediante el fomento de eventos de actualización en materia de cambio climático.

8.3 Resumen de logros del proyecto

Tabla 8.1 Resumen de los resultados del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-Durango)		
Resultados esperados	Logro	Observaciones
a) Inventario estatal de emisiones de GEI. Incluirá un análisis de la contribución estatal de las emisiones por quema de combustibles fósiles empleados a las emisiones nacionales de GEI, y también se identificará el potencial de captura de carbono en los sumideros naturales y antropogénicas de Durango, con énfasis en la relación de su capacidad con el uso de suelo actual, cambio de uso de suelo y restauración de espacios degradados.	100%	Es conveniente remarcar que en el estado no existen bases de datos de actividad debidamente desagregados, lo cual limitó la cuantificación de las emisiones provenientes de algunas fuentes como se describe en el reporte del IEEGEI-Durango.
b) Proyecciones de emisiones de GEI al 2020, 2050 y 2100. Los escenarios de emisión-mitigación incluirán: a) Uso eficiente y demanda de combustibles fósiles en fuentes móviles y fijas, b) Evaluación de fuentes alternas capaces de producir energías limpias y sustentables, c) Los escenarios de captura de carbono	80%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las proyecciones de las emisiones de GEI realizadas con LEAP se pueden proyectar a cualquier periodo de tiempo; sin embargo, se decidió evaluar un periodo conservador 2005-2030, pues a mayor tiempo mayor incertidumbre, ya que representaba en tiempo futuro de 25 años, periodo suficientemente largo para establecer una estrategia a largo plazo. ➤ Los escenarios de captura de carbono

establecidas para el 2020, 2050 y 2100 comparando acciones específicas contra la inacción.		futura no fueron desarrollados debido a que la herramienta LEAP no tiene el alcance del sector USCUS.
c) Análisis de costo-beneficio-factibilidad-viabilidad y definición de los beneficios directos e indirectos, a corto y mediano plazos, en la reducción del consumo de combustibles fósiles.	20%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Este apartado requiere de un marco de referencia que emane de la CICC-Durango pues es necesario identificar: las metas de reducción de emisiones y las acciones específicas de adaptación, las dependencias responsables de coordinar los proyectos, los ejecutores del proyecto, el costo de los proyectos, las instituciones financiadoras. En resumen, esta es una tarea compleja por todos los factores que intervienen, además de que se carece de expertos locales y nacionales en economía ambiental. ➤ Se organizó el curso taller “Análisis de Costo-Beneficio de medidas de mitigación de emisiones de GEI y acciones de adaptación al CC”, impartido por expertos de la Facultad de Economía de UBCS (30 hrs). ➤ Cabe destacar que se hizo la vinculación con la Facultad de Economía de la Universidad de Baja California Sur, orientado a tener un apoyo técnico para realizar el análisis de Costo-Beneficio. Como resultado del intercambio de ideas la Dra. Antonina Ivanova, coordinadora del PEACC-BCS, expresó que esta es una tarea fuera del alcance de los PEACC ya que por sí mismo representa un macro proyecto que requiere demasiados insumos con los cuales no cuentan los PEACC.
d) Identificación de oportunidades para proyectos a través de MDL y otros esquemas para créditos de carbono.	10%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Está vinculada con el apartado de costo-beneficio, el cual no se realizó por los motivos expuestos anteriormente.
e) La promoción de implementación de tecnologías limpias y la mejora de las condiciones ecológicas para la captura óptima de carbono	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se suscriben dentro del documento del PEACC, aunque en la propuesta original esto sería cubierto parcialmente durante el Simposio Estatal de Acción ante el Cambio Climático el cual fue cancelado por instrucciones de la SEMARNAT-INE.
f) Proyecciones de escenarios climáticos locales, a través de generadores estocásticos de tiempo meteorológico que consideren como información de	100%	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se desarrollaron dos tipos de escenarios climatológicos que siguieron la misma metodología pero que difieren en el número de EM-SMN consideradas: En el primero se evaluaron las condiciones

<p>referencia los escenarios de cambio climático regionalizados para México, para las climatologías del 2030, 2050 y 2080.</p>		<p>extremas del clima al 2030, 2050 y 2080. En el segundo se evaluaron las condiciones promedio de las variables al 2030, empleado para los estudios específicos de vulnerabilidad. Esto último fue debido a que la planeación de políticas de adaptación difícilmente se establecerían a periodos más largos.</p>
<p>g) Análisis de impactos, vulnerabilidad y riesgos del Estado ante la variabilidad climática, fenómenos hidrometeorológicos extremos y cambio climático, incluirá: a) Identificación de las zonas, sectores y ecosistemas más vulnerables de Durango, b) Jerarquización de las zonas, sectores y ecosistemas vulnerables según su severidad ante los cambios climáticos, c) Análisis de resultados de impactos y la vulnerabilidad (actual y proyectada) de Durango, d) Identificación de opciones de adaptación al cambio climático en los sectores y sistemas de interés para el Estado.</p>	<p>80%</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se desarrolló el estudio de análisis de la vulnerabilidad de los sectores partiendo de la amenaza, riesgo e impacto del CC. ➤ Se jerarquizaron los sectores según su vulnerabilidad ➤ Se realizaron estudios específicos de vulnerabilidad para el sector agricultura y suelos pero faltaron realizar estudios para hídrico, salud, etc., esto debido a falta de tiempo, información sectorial y expertos locales que pudieran realizarlo.
<p>h) Listado de medidas de adaptación que contribuyan a la implementación exitosa del PEACC-Durango.</p>	<p>100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se incluyen en el documento del PEACC-Durango un listado de acciones por sector que podrían ser las principales acciones a implementarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Aramburú, C. E., 2001. Diagnóstico, línea basal y población objetivo. Gerencia social. Diseño, monitoreo y evaluación de proyectos sociales. Lima-Perú: Universidad del Pacífico. ISBN 9972-603-32-6.
- ◆ Bassols, A., 1993. Geografía Económica de México. Teoría, fenómenos generales, análisis regional. 7a edición. Trillas. México. 206 - 253.
- ◆ Becerra M. A., 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. 1ra ed. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 376 p.
- ◆ Bengtsson J, P. Angelstam, T. Elmqvist, U. Emanuelsson, C. Folke, M. Ihse, F. Moberg and M. Nyström, 2003. Reserves, resilience and dynamic landscapes. Royal Swedish Academy of Sciences, *Ambio* Vol. 32 No. 6: 389-396.
- ◆ Bockheim J. G and A.N. Gennadiyev, 1999. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil. *Geoderma* 95: 53–72.
- ◆ Bruinsma J., 2003. World agriculture: towards 2015/2030 An FAO Perspective. Earthscan Publications Ltd London
- ◆ Bye R., 1995. Prominence of the Sierra Madre Occidental in the Biological Diversity of México, pp. 19-27 in: DeBano et al. (eds.). Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago, USDA Forest Service. General Technical Report RM-GTR264.
- ◆ Cárdenas M. J., 2010. Costos económicos del cambio climático en México, capítulo del libro México ante el Cambio Climático, evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. Compilado por María José Cárdenas. GREENPEACE, México. D.F. Pág.: 46-50.
- ◆ Cecilio, R.A. *et al.*, 2004. Analysis of the RUSLE and WEPP models for a Small Watershed Located in Vicosá, Minas Gerais State, Brazil. ISCO, 2004-13th International Soil Conservación Conferencie, Brisbane, 2004.
- ◆ CEVAG, 2005. Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del Campo Experimental Valle del Guadiana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Durango, Durango.
- ◆ Chu J. T., Xia J., Xu C. Y. and Singh V. P., 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*. 99: 149–161.
- ◆ CNA, 1998. Cuencas Hidrológicas de México. Escala 1:250,000. México. Revisado (12/11/2009) In: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>
- ◆ COMMEND, 2012. Community for Energy, Environment & Development from the Stockholm Environment Institute. LEAP Tools for Sustainable Energy Analysis. Long range Energy Alternatives Planning System. Version 2008.0.0.96. <http://www.energycommunity.org/default.asp?action=47>
- ◆ CONABIO, 2011. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Conservación. Manejo de los Recursos Naturales. Arturo Peña Jiménez, Leticia Durand Smith, Carlos Álvarez Echegaray. http://www.conabio.gob.mx/institucion/estudio_pais/CAP6.PDF

- ◆ CONAGUA, 2008. Documento preliminar de riesgos del estado de Durango, CONAGUA-Delegación Durango, 2008. No publicado.
- ◆ CONAPO, 2006. Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la población de México 2005-2050. La población mexicana se encontraría ya en fase descendente en 2050.
- ◆ CONAPO, 2009. Consejo Nacional de Población. Proyecciones de los hogares y las viviendas de México y de las entidades federativas, 2005-2050.
- ◆ CONAPO, 2010. Consejo Nacional de Población. http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=294.
- ◆ Conde C., 2010. Vulnerabilidad y adaptación de México ante el cambio climático. En: Cárdenas J. M. (Compilador) 2010. México ante el cambio climático. Evidencias, Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Greenpeace México. México D.F.
- ◆ Conde C., Ferrer R. M. y Liverman D., 2000. Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES – MAIZE. En: Gay García Carlos (Compilador) (2000). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 p.
- ◆ Conde C., Ferrer R. M., Araujo R., Gay C., Magaña V., Pérez J. L., Morales T. y Orozco S., 2007. El niño y la Agricultura. En: Magaña Rueda Víctor (Editor) (2004). Los impactos del niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p.
- ◆ Conde C., Ferrer R. M., Gay C. y Araujo R., 2004. Impacto del cambio climático en la agricultura en México. En: Martínez J. y Fernández B. A. 2004. Cambio climático: una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología. México. D.F.
- ◆ Conde, A. C., 2000. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, descripción de un estudio de caso y los restos de las investigaciones actuales. En: Gay García Carlos (Compilador). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 p. ISBN 968-36-7562-X
- ◆ Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. M. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villarreal, C. Gay., 1997. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to Climate Change. Clim. Res. 9, 1: 17-23.
- ◆ Cotler H. A., 2007. Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. INE-SEMARNAT. Revisado (22/06/2011) In: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/395/cotler.html>
- ◆ COVECA, 2011. Monografía del frijol, estado de Veracruz. Gobierno de Veracruz Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA). 25p.
- ◆ Cowie J., 2007. Climate Change. Biological and Human Aspects, Cambridge University Press, Cambridge.

- ◆ Cox C. A., 2008. Resilience. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 1, Vol. 63: 6A
- ◆ CP-SARH-SPP, 1991. Manual de conservación del suelo y del agua (3a Ed.). Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de México. 584 p.
- ◆ Cuevas M. L., A. Garrido, J. L. D. Pérez y D. G. Lura, 2010. Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural en: Las Cuencas Hidrográficas de México, diagnóstico y priorización, editado por Helena Cotler Ávalos, Arturo Garrido Pérez, Noemí Luna González, Carlos Enríquez Guadarrama, y María Luisa Cuevas Fernández. Pág. 96-103.
- ◆ Díaz P. G., I. C. Sánchez, R. Quiroz, J. P. Garatuza, Ch. Th. Watts, I. R. M. Cruz., 2008. Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México. *Agricultura Técnica en México*. 34, 3: 279-287.
- ◆ DOF, 2002. Diario Oficial de la Federación (NOM-059-ECOL-2001). 2a. sección del miércoles 6 de marzo del 2002.
- ◆ Dueñez-Alanís J., J. Gutiérrez, P. Luis, J. Navar., 2006. Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimiento superficial y erosión. *Terra Latinoamericana* Vol. 24, 2: 233-240. Durango.
- ◆ Easterling, W. E., Aggarwal P. K., Batima P., Brander K. M., Erda L., Howden S. M., Kirilenko A., Mort J., Soussana J-F., Schmidhuber J. and Tubiello F. N., 2007: Food, fibre and forest products. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
- ◆ ECC, 2009. Estrategias contra el Cambio Climático. Foro Regional realizado en la Ciudad de Zacatecas, Zac. Del 28-29 de septiembre, 2009.
- ◆ EMM, 2009. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de Durango. In: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/durango/medi.htm>
- ◆ Esquivel A. G., 2011. Efecto del cambio en los patrones del clima sobre el rendimiento de los cultivos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. URUZA. Bermejillo, Durango.
- ◆ FAO, 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo (estudio de la FAO para producción y protección vegetal). Deposito de documentos de la FAO.
- ◆ FAO, 2003. Agricultura mundial, hacia los años: 2015-2030. Informe Resumido. Roma, Italia.
- ◆ FAO, 2005. Agricultura y dialogo de culturas, nuestro patrimonio común. 8p.
- ◆ FAO, 2006. World Reference Base for Soil Resources. A framework for International Classification and communications.
- ◆ FIDE, 2011. Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. http://portal.fide.org.mx:8000/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=180

- ◆ Figueredo, T. y Poesen, J., 1997. Effects of surface rock fragment characteristic on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. *Soil and Tillage Research* 46:81-95.
- ◆ Flato, G. M.; Boer, G. J.; Lee, W. G.; MacFarlane, N. A.; Rmasdem, D., Reader, M.C. and Weaver, A. J., 2000. The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis Global Coupled Model and its Climate. *Climatic Dynamics* 16: 451-467.
- ◆ Flores, D., 1986. Breve Análisis sobre la Agricultura de Temporal de México. En: FORO: Panorama de la agricultura mexicana, reflexiones, preguntas, respuestas. UNAM. México. 85 - 99.
- ◆ Fortis-Hernández M., A. Huerta-García, M. A. Segura-Castruita, J. L. García-Hernández, J. A. Leos-Rodriguez, A. García-Salazar, R. Valdez-Cepeda, 2010. Validación de cuatro modelos de interpolación para cartografiar nitrato y amonio en suelo. *SMCS. Terralatioamericana* 28, 4: 371-379.
- ◆ Fowler H. J., Blenkinsop S. and Tebaldib C., 2007. Review. Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological Modeling. *International Journal of Climatology* 27: 1547–1578.
- ◆ Fox A. G. and Wilson, G. V., 2010. The role of subsurface flow in hill slope and stream bank erosion: a review. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:717–733.
- ◆ Gaiser T., Barros I., Sereke F. and Lange F. M., 2010. Validation and reliability of the EPIC model to simulate maize production in small-holder farming systems in tropical sub-humid West Africa and semi-arid Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 318–327
- ◆ Galindo, M. A., 2009. La Economía del Cambio Climático en México, síntesis. SHP-SEMARNAT. Consultado (28/09/2011).
- ◆ García A., 2008. Vegetación y flora de un bosque relictual de Picea Chihuahua Martínez del Norte de México. *Polibotánica*, junio, número 025, IPN, pp. 45-68.
- ◆ García E., 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas. UNAM.* 50: 67-76. Consultado (julio/2010) In: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56905009.pdf>.
- ◆ García-Páez F. y Cruz-Medina I .R., 2009. Variabilidad de la precipitación pluvial en la región pacífico norte de México. *Agrociencia* 43: 1-9. 2009.
- ◆ García-Páez F. y Cruz-Medina I .R., 2009. Variabilidad de la precipitación pluvial en la región pacífico norte de México. *Agrociencia* 43: 1-9.
- ◆ Garrido A., y Cotler H., 2010. Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México en: *Las Cuencas Hidrográficas de México, diagnóstico y priorización*, ed. por Helena Cotler Ávalos, Arturo Garrido Pérez, Noemí Luna González, Carlos Enríquez Guadarrama, y María Luisa Cuevas Fernández. Pág. 104-107.
- ◆ Gerard, C. J., 1987. Laboratory Experiments on the Effect of Antecedent Moisture and Residue Application on Aggregation of Different Soils. *Soil Tillage Research*, 9: 21-32.

- ◆ Gitay H., Brown S., Easterling W. and Jallow B., 2007. Ecosystems and their goods and services. En: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ◆ González E. M., Jurado, E., González E. S., Aguirre C. O., Jiménez P. J. y Navar J., 2003. Cambio Climático Mundial: Origen y Consecuencias. Ciencia UANL, Julio-Septiembre, año/vol. VI, número 003. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. pp 377-385.
- ◆ GREENPEACE, 2010. México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. Greenpeace México Santa Margarita 227, Col. del Valle, C.P. 03100, México, D.F. 72 p.
- ◆ Grunwald S., J. A. Thompson, J. L. Boettinger, 2011. Digital Soil Mapping and Modeling at Continental Scales: Finding Solutions for Global Issues. Soil Sci. Soc. Am. J. 75:1201-1213.
- ◆ Gutiérrez-Elorza M., 2006. Erosión e influencia del cambio climático. Dpto. de Ciencias de la Tierra, Zaragoza, España. Revista C y G Vol. 3-4: 45-49.
- ◆ Heyerdahl E. K. and E. Alvarado, 2003. Influence of Climate and Land Use on Historical Surface Fires in Pine-Oak Forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. Cap 7 del libro: Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas. Pp 196-217. Ecological Studies, 2003, Volume 160, 2., 196-217, DOI: 10.1007/0-387-21710-X_7.
- ◆ Ibararán, V., M.A y Rodríguez, S., M., 2007. Estudio sobre Economía del Cambio Climático en México. Universidad Iberoamericana Puebla. Número de Contrato: INE/ADE-008/2007. <http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2007h.pdf>
- ◆ IEA, 2011. International Energy Agency. Statistics: CO₂ Emissions from fuel combustions highlights. <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>
- ◆ IEEGEI, 2012. Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Durango. Reporte presentado ante el INE y la Secretaria de Recursos Naturales y Medio Ambiente del estado de Durango, en proceso de impresión.
- ◆ IEEGEI-Durango, 2011. Inventario Estatal de Emisiones de GEI para el estado de Durango. Reporte preliminar ante la SRNyMA-Durango.
- ◆ IMTA, 2006. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. Extractor Rápido de Información Climatológica III, v. 1.0. Información climatológica disponible en formato electrónico. Jiutepec, Morelos, México
- ◆ INE, 1996. Instituto Nacional de Ecología. Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Volumen 2, versión revisada 1996. <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/intro.pdf>
- ◆ INE, 2007. Instituto Nacional de Ecología. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=615.

- ◆ INE, 2007. Instituto Nacional de Ecología. Determinación de períodos de sequía y lluvia intensa en diferentes regiones de México ante escenarios de cambio climático. Estudio desarrollado por: Prieto R., M. Montero, J. Sánchez y W. Ojeda, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para el Instituto Nacional de Ecología. 101 p.
- ◆ INE, 2011. Instituto Nacional de Ecología. Cambio Climático en México. http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/qsehaceparamitigarelcc/ambitonacion.html
- ◆ INE, 2011. Instituto Nacional de Ecología. Caracterización ambiental de México. Revisado (15/07/2011) In: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/443/cap2.html>.
- ◆ INE, 2011. Instituto Nacional de Ecología. <http://www2.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/vulnerabilidad.pdf>
- ◆ INEGI, 2006. II Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1993 A 2002. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques.
- ◆ INEGI, 2009. II Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/615/inventario.pdf>.
- ◆ INEGI, 2005. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2005. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/default.aspx>
- ◆ INEGI, 2007. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico, Escala 1:250,000, Serie II, Cobertura Durango, claves: F13-02, F13-03, F13-05, G13-04, G13-05, G13-06, G13-07, G13-08, G13-09, G13-10, G13-11, G13-12.
- ◆ INEGI, 2008. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Durango. Aguascalientes, Aguascalientes. México.
- ◆ INEGI, 2009. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Mapa de Regiones Hidrológicas del estado de Durango. In: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/dgo/rh.cfm?c=444&e=10>
- ◆ INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. II Censo de Población y Vivienda, 2005. <http://www2.inegi.org.mx/sistemas/mapatematicomexicocifras3d/default.aspx?e=10&mun=0&sec=M&ind=1002000001&ani=2010&src=0&i=>
- ◆ INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda. Censo de Población histórico al 2010.
- ◆ INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda. Perspectivas económicas históricas del estado de Durango al 2010.
- ◆ INEGI, 2011a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Perspectivas estadísticas

- ◆ INEGI, 2011b. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa de la Fisiografía del estado de Durango.
http://srnymadgo.gob.mx/medio_ambiente/sitio/ordenamiento_ecologico/bitacora/Contenido%20Pagina%20Web/Bases%20Tecnicas/Bases%20tecnicas_Informes%20del%20estudio%20tecnico/Fase%20de%20Caracterizacion%20I%20Medio%20Natural/Fisiografia.pdf
- ◆ INEGI, 2011c. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa de Climas-Durango
<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/dgo/clim.cfm?c=444&e=20>
- ◆ INEGI, 2011d. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa de Regiones Hidrológicas-Durango
<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/dgo/rh.cfm?c=444&e=07>
- ◆ INEGI-C, 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Climas de Durango. Consultado (julio/ 2010) In:
<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/dgo/clim.cfm?c=444&e=20>.
- ◆ INEGI-DURANGO, 2003. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Vectoriales shp de Uso de Suelo y Vegetación del estado de Durango de la Serie III.
- ◆ INEGI-DURANGO, 2003. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Vectoriales shp de Uso de Suelo y Vegetación del estado de Durango de la Serie IV.
- ◆ INEGI-G, 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Guía para la Interpretación de las Carta Edafológica, producida por la Dirección General de Geografía del INEGI. Segunda edición. Aguascalientes, Ags. 28 p.
- ◆ INEGI-MF, 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía-Mapa de Fisiografía del estado de Durango. Consultado (06/06/2011).
- ◆ INE-SEMARNAT, (2011). Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Cambio Climático en México Información por Estado y Sector. Sistema de Información de Escenarios de Cambio Climático Regionalizados (SIECCRe). Metadatos y mapas para SIG. Consultado (24/09/2011) In:<http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios/>
- ◆ INE-SEMARNAT, 2009. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. 91 p.
- ◆ INFDM, 2005. Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal, Gobierno del estado de Durango. Enciclopedia de los municipios de México-Durango, 2005.
- ◆ IPCC, 1997. Intergovernmental Panel on Climate Change. Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO₂. Documento preparado bajo los auspicios del Grupo de Trabajo I del IPCC, copresidido por Sir John T. Houghton, del Reino Unido, y el Dr L. Gylvan Meira Filho, del Brasil
- ◆ IPCC, 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report Emission Scenarios. Summary for Policy makers. A Special Report of IPCC Working Group III. <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/region-sp.pdf>

- ◆ IPCC, 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: Third Assessment Report. Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC, Ginebra.
- ◆ IPCC, 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I. Newsletter No. 8. WMO, UNEP.
- ◆ IPCC, 2002. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambio Climático y Biodiversidad: Documento Técnico V del IPCC. <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>.
- ◆ IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- ◆ IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- ◆ IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis K. B., Averyt M. T. and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. NY, USA.
- ◆ IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. 114 p.
- ◆ IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 Inter Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/annex1sglossary-a-d.html
- ◆ IPCC, 2007a. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis K. B., Averyt M. T. and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. NY, USA.
- ◆ IPCC, 2007b. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy makers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 24 pp. [en <http://www.ipcc.ch/>, ver la versión en español]
- ◆ IPCC, 2010. Intergovernmental Panel on Climate Change. Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. Meeting Report, National Center for Atmospheric Research Boulder, Colorado, USA 25-27 January 2010.

- ◆ IPCC, 2010. Intergovernmental Panel on Climate Change. Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 117.
- ◆ IPCC, 2011. Intergovernmental Panel on Climate Change. Informe Especial del IPCC: Impactos Regionales Del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad.
- ◆ IPCC-D, 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change .Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Módulo 5, Libro de trabajo. 58 p. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch5wb1.pdf>.
- ◆ Kannan S. & Ghosh S., 2010. Prediction of daily rainfall state in a river basin using statistical downscaling from GCM output. *Environmental Research and Risk Assessment* 25 (4): 457-474
- ◆ Kliejunas J. T., Geils B. W., Glaeser J. M., Goheen E. M., Hennon P., Mee-Sook K., Kope H., Stone J., Sturrock R. and Frankel J. S., 2009. Review of Literature on Climate Change and Forest Diseases of Western North America. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 54 pp.
- ◆ Ko J., Piccinni G. and Steglich E., 2009. Using EPIC model to manage irrigated cotton and maize. *Agricultural Water Management* 96: 1323–1331
- ◆ Koolen A. J., 1987. Deformation and compactation of elemental soil volumes and effect on mechanical soil properties. *Soil and Tillage Research* 10: 5-19.
- ◆ Krishnan P., Ramakrishnan B., Rao K. S. and Dash R. N., 2009. Simulation Studies to Characterize the Impact of Climate Change on Crop Production and to Identify Strategies for Adaptation and Mitigation. En: *Climate Change and Crops*. S.N. Singh National Botanical Research Inst. (NBRI) Environmental Science Division. India.
- ◆ Kumar M. W., K. Ramachandran, K.L Sharma, B. Satyam, M. U. Bhanu, M. Mandal, R. N. Masane, 2011. Assessing soil quality in a semiarid tropical watershed using a geographic information system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:1144–1160.
- ◆ Kurukulasuriya P. & Rosenthal S., 2003. *Climate Change and Agriculture A Review of Impacts and Adaptations*. The World Bank Environment Department. Climate Change Series. Paper No 91.
- ◆ LARS-WG, 2002. Long Ashton Research Station Weather Generator. User Manual version 3.0. 28 p.
- ◆ LGASED, 2011. Ley de Gestión Ambiental Sustentable del estado de Durango. H. Congreso del Estado 2010-2013. 60 p.
- ◆ Li K. & Qi J., 2010. Statistical Downscaling: a Powerful Tool for Estimating Global Change Impacts on Regional Scale. 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology.

- ◆ Lichtfouse E., 2009. Climate Change, Society Issues and Sustainable Agriculture. En: E. Lichtfouse (ed.). Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms, Sustainable Agriculture Reviews 2.
- ◆ Lim B. y Spanger-Siegfried E., 2010. Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollo de Estrategias, Políticas y Medidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). NY. USA.
- ◆ Liu J., Williams J. R., Wang X. and Yang H., 2009. Using MODAWEC to generate daily weather data for the EPIC model. Environmental Modelling & Software 24: 655–664
- ◆ Liverman, D., M. Dilley, K. O'Brian and L. Menchaca, 1994, Possible Impacts of Climate Change on Maize Yields in Mexico. En: Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study, Cynthia Rosenzweig and Ana Iglesias, (Eds), EPA.
- ◆ Lobell D. & Burke M., 2010. Global and Regional Assessments 177-192. En: D. Lobell and M. Burke (eds.), Climate Change and Food Security, Advances in Global Change Research 37
- ◆ López B. F., 2000. Impactos regionales del cambio climático. Valoración de la vulnerabilidad. Papeles de Geografía, Julio-Diciembre, número 32. Universidad de Murcia. Murcia España. p. 77-95.
- ◆ López-Márquez J., J. Sánchez, R. Anderson, 2001. Comparación de varios métodos para la representación cartográfica de información climática en zonas altas del estado Lara. Bioagro 13, 001: 39-46.
- ◆ López-Santos A. *et al.*, 2009. Changes into porosity of the soil by tillage effect at a clayish soil. Proceedings of 18th Triennial Conference, "Sustainable Agriculture". Junio, 2009, Izmir, Turquía.
- ◆ López-Santos A., J. L. González-Barrios, L. M. Valenzuela-Núñez, P. Bueno-Hurtado, A. Viera-Briones, 2011. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Durango, 2005-2008, Categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura. Reporte técnico relacionado con el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del estado de Durango (PEACC-Durango).
- ◆ Maderey R. L. E. y Jiménez R. A., 2000. Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global. En: México una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Gay García Carlos (Compilador) (2000). Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. US Country Studies Program. México, 220 p.
- ◆ Magaña R. V. O., J. L. Vázquez, J. L. Pérez & J. B. Pérez, 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. Geofísica Internacional 42, 03: 313-330.
- ◆ Magaña R. V. O., 2009. Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones. Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM-INE. 76 p.

- ◆ Magaña R. V. O., 2010a. Curso Taller Elaboración de Escenarios de Riesgo y Vulnerabilidad Ante el Cambio Climático. Realizado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes los días 13, 14 y 15 de noviembre, 2010. Aguascalientes, Ags.
- ◆ Magaña R. V. O., 2010b. Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones. Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México. 80 p.
- ◆ Magaña V. O., J. L. Vázquez, J. L. Pérez & J. B. Pérez, 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional* 42, 03: 313-330.
- ◆ Magaña, V. and C. Conde, 2000. Climate and freshwater resources in northern Mexico, Sonora: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61, 167-185.
- ◆ Magaña-Rueda V. y Gay-García C., 2002. *Gaceta Ecológica* No. 65. Pp. 7-23. Vulnerabilidad y Adaptación Regional Ante El Cambio Climático y sus Impactos Ambiental, Social y Económicos.
- ◆ McGill W. B., Rosenberg N. J. and Jakas Q., 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. *Ecological Modelling* 192: 362–384
- ◆ McMichael, A. J., Beaglehole, R., 2000. Public Health, The Changing Global Context of Public Health, *The Lancet* review.
- ◆ Medellín M. P., 2002. Agenda Pendiente IV, uso del suelo. *Diario de San Luis*, Sección Ideas, pág. 40, 14 nov de 2002.
- ◆ Mena F. C., Valenzuela J. G., Rojas Y. O., 2006. Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Rev. Fac. Ing. Univ. Tarapacá*, 14, 1: 81-89.
- ◆ Méndez-González J., J. J. Nívar-Cháidez, V. González-Ontiveros, 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, abril, número 065 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México: 38-55.
- ◆ Mendoza Díaz Alberto, Cadena Rodríguez Arturo, de Buen Richkarday Oscar, Domínguez Pommerencke Luis, Rico Rodríguez Alfonso, 1992. Estudio de pesos y dimensiones de los vehículos que circulan sobre las carreteras mexicanas: Análisis estadístico del peso y las dimensiones de los vehículos de carga que circulan por la red nacional de carreteras. Estaciones instaladas durante 1991, Documento Técnico No. 8, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfadila, Qro.
- ◆ Mikhailova, E. A., R. B. Bryant, S. J. Schwager, and S. D. Smith, 1997. Predicting rainfall erosivity in Honduras. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:273-279.
- ◆ Milankovitch Cycles, 2006. Milankovitch Cycles in Paleoclimate. Revisado (19/06/06) in: <http://deschutes.gso.uri.edu/~rutherford/milankovitch.html>
- ◆ Miramontes P. C. U., 2007. Situación y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). México D.F. 208 p.

- ◆ Monckton B. F., 2007. Greenhouse warming? What greenhouse warming? Science & Public Policy Institute (SPPI). Washington DC. 16 pp.
- ◆ Monte R. *et al.*, 2005. Climate change impacts on soil erosion in Midwest United States with changes in crop management. CATENA 61: 165-184. (online www.sciencedirect.com).
- ◆ Montero M. M. J., Martínez J. J., Castillo P. N. I. y Espinoza T. B. E., 2010. Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máximas y mínimas. En: Martínez A. P. F. y Patiño G. C. Eds. 2010. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- ◆ Monterroso R. I. A., Conde, A. A. C., Gómez, D. J. D., García, L. J., 2007. Vulnerabilidad y riesgo en la agricultura por cambio climático en la región centro del estado de Veracruz, México. 14p.
- ◆ Montes-León M. A., E. M. Uribe-Alcántara, E. García-Celis, 2011. Mapa de Erosión Potencial. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, 1: 5-17.
- ◆ Morafka D. J., 1977. A Biogeographical Analysis of the Chihuahuan Desert through its Herpeto fauna. The Hague, Netherlands. Dr. W. Junbv.
- ◆ Morgan, R. P. C., 1986. Soil Erosion and Conservation. Ed. Longman Scientific and Technical. Hong Kong. 298 p.
- ◆ Morris M. W. *et al.*, 1985. Characterizing Strength of Soil Crusts Formed by Simulated Rainfall. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 427-431.
- ◆ Navar-Cháidez J. J. y González-Elizondo S., 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. Polibotánica 27, abril: 71-87.
- ◆ Niu X., Easterling W., Hays C. J., Jacobs A. and Mearns L., 2009. Reliability and input-data induced uncertainty of the EPIC model to estimate climate change impact on sorghum yields in the U.S. Great Plains. Agriculture, Ecosystems and Environment 129: 268–276
- ◆ NOM-021-RECNAT, 2000. NORMA Oficial Mexicana NOM-023-ECOL-2001, que establece las especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. Revisado (15/05/2011) In: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx>
- ◆ NOM-023-RECNAT, 2001. NORMA Oficial Mexicana NOM-023-ECOL-2001, que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos. Revisado (15/05/2011).
- ◆ NOM-060-ECOL, 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-060-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.

- ◆ NSF, 2009. National Science Foundation. Climate Literacy. The Essential Principles of Climate Sciences. Washington DC Unites States of America. 17 pp.
- ◆ Nyseen J. *et al.*, 2001. Removal of rock fragments and its effects on soil loss and crop yield, Trigray, Ethiopia. *Soil Use Management* 17: 179-187.
- ◆ OCDE, 2003. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Current Status of National Inventory Preparation In Annex I Parties and Non-Annex I Parties. OCDE Environment Directorate and International Energy Agency. Document prepared by Abke Herold, Oeko-Institut, Germany, in November 2003.
- ◆ OCDE-IEA, 2010. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-International Energy Agency. *Perspectivas sobre tecnología energética 2010*. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/etp2010sum.pdf>
- ◆ Ojeda B. W., M. C. Íñiguez, y J. M. C. González, 2010. Vulnerabilidad de la agricultura de riego en México ante el cambio climático. Cap. 5 del libro: Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Coordinadores generales Polioptro F. Martínez Austria y Carlos Patiño Gómez. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, Mor. 164 p. ISBN: 978-607-7563-23-5
- ◆ Ordoñez J .A. B., Mesera O., 2001. Captura de carbono ante el cambio climático, madera y bosques, Instituto de Ecología A. C. 11p.
- ◆ Ortíz V.B. y S.A.C. Ortíz, 1984. Edafología UACH. Depto. de Suelos. 7ta. Ed. 1990.
- ◆ Palma B. C., 2007. Organización Mexicana de Meteorólogos, AC. Memoria del Congreso 20071116-01 XVI Congreso Mexicano de Meteorología, Ed. internacional, 12 al 16 de nov. /2007, Veracruz, México.
- ◆ Palma, B., C. Conde; R. Morales y G. Colorado, 2007. Escenarios de Cambio Climático para Veracruz. En Plan Estatal de Acción Climática del Estado de Veracruz (A. Tejeda-Martínez, coordinador).
- ◆ Partida, 2010. Proyecciones de los hogares y las viviendas de México y de las entidades federativas, 2005-2050
- ◆ Peña, B. y J. Ramírez, 1993. La operación de maíz de alta producción bajo la estrategia del Plan Puebla. Colegio de Posgraduados. CEICADAR. Chapingo. 72 pp.
- ◆ Pidwirny M., 2006. Fundamental of Physical Geography. University of British Columbia Okanagan. Revisado (06/12/06) In: www.PhysicalGeography.net
- ◆ PNUD, 2005. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollando estrategias, políticas y medidas. 274 pp.
- ◆ POED, 2009. Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del estado de Durango. Tomo CCXX, No.5. Durango, Dgo. 15 de enero, 2009.
- ◆ Porta J. *et al.*, 1999. Edafología para la Agricultura y el medioambiente. 2 ed. Ed. Mundi Prensa. Pp 601-650.
- ◆ Pruski F. F. y Nearing, M. A., 2002. Climate-induced Changes in Erosion during the 21st Century for eight U.S. locations. *Water Resources Research*, Vol. 38 No. 1298

- ◆ Qaderi M. M. & Reid M. D., 2009. Crop Responses to Elevated Carbon Dioxide and Temperature. Chapter 1: 1-18 En: S.N. Singh (ed.). Climate Change and Crops, Environmental Science and Engineering.
- ◆ Ren J., Yu F., Chen Z. and Qin J., 2010. Regional Yield Estimation of Summer Maize Based on Assimilation of Remotely Sensed LAI into EPIC Model. En: 2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing.
- ◆ Rentería Arrieta L. I., 2010. Contribución al conocimiento de la biodiversidad bajo estatus de protección legal y las áreas naturales protegidas del estado de Durango, México. Tesis de doctorado en ciencias en manejo de recursos naturales. FCF-UANL, 272 p.
- ◆ Rivera del R. R., G. P. Crespo, R. A. Ramírez, A. Q. Nolasco, 2007. Comportamiento espacio temporal de la sequía en el estado de Durango, México. Terra Latinoamericana 25: 383-392.
- ◆ Rosegrant M. W., Ewing M., Yohe G., Burton I, Huq S., and Valmonte S. R., 2008. Climate Change and Agriculture. Threats and Opportunities. Eschborn Germany. Climate Protection Programme for Developing Countries. 36 pp.
- ◆ Rosenzweig C., 2007. Climate Change & Agriculture. Learning lessons & proposing solutions. Iowa State University. U.S.A. 28 pp.
- ◆ Rosenzweig C., Tubiello F. N., Goldbergb R., Millsc E., and Bloomfield J., 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. Global Environmental Change 12: 197–202
- ◆ Rucks L., F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León, M. Hill, 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Departamento de suelos y agua. Montevideo Uruguay. 68 p.
- ◆ Ruiz F. F., 1994. Manejo de Suelos Arcillosos para una Agricultura Sustentable, trabajos presentados en la Segunda Reunión Nacional sobre manejo de Suelos Arcillosos, celebrada en Mérida, Yucatán del 10 al 14 de noviembre de 1994.
- ◆ SAGARPA, 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Tecnológico de Monterrey, Inca rural. Plan Rector Sistema Producto Nacional Frijol.
- ◆ SAGARPA, 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. OEIDRUS Durango, estadística agrícola, anuario estadístico por cultivo. Consultado en <http://www.oeidrus-durango.gob.mx/>
- ◆ SAGARPA, 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Programas y planes para atender zonas agropecuarias y/o afectadas por sequía. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Memoria del Foro Binacional (México-USA) sobre Desertificación y Sequía en relación con el Cambio Climático. Zacatecas, 10-12 de agosto de 2011.
- ◆ Salazar A. y Masera O., 2010. México ante el cambio climático. Resolviendo necesidades locales con impactos globales. Documento de trabajo. Unión de científicos comprometidos con la Sociedad A.C.

- ◆ Sánchez C. I., 1994. Evaluating strip farming systems. A stochastic approach. Ph D. Dissertation. The University of Arizona. 120 pp.
- ◆ Sánchez C. I., 2005. Fundamentos para el manejo integral del agua. Libro Científico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmosfera. Gómez Palacio Durango, Méx.
- ◆ Sánchez C. I., González B. J. L., Díaz P. G. y Velázquez V. M. A., 2009. Cambio climático e incertidumbre: impacto en las variables hidrológicas de las cuencas. En: González Barrios, J. L., I. Sánchez Cohen (Dir. Del libro). Manejo comparado de cuencas hidrológicas. Incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológica y conflicto social. Ediciones de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, la Red Temática del Agua CONACYT y la Red Nacional de Innovación Agua y Suelo del INIFAP. Torreón, Coahuila, México 282 p.
- ◆ Sánchez C., Lopes V. L., Slack D. C. y Fogel M. M., 1997. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol 123 No 2. Pp 123-128.
- ◆ SARH-SPP-CP, 1991. Secretaría de Recursos Hidráulicos-Secretaría de Programación y Presupuesto y Crédito Público. Manual de Conservación de Suelos y Agua. Tercera ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- ◆ Schlenker W., 2010. Crop Responses to Climate and Weather: Cross-Section and Panel Models. Chapter 6: 99-108. En: D. Lobell and M. Burke (eds.), Climate Change and Food Security, Advances in Global Change Research 37.
- ◆ SE, 2012. Secretaría de Economía. Análisis de la Cadena de Valor del Frijol http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf
- ◆ SEDECO, 2009. Secretaría de Desarrollo Económico estado de Durango. <http://www.promociondurango.gob.mx/geografica.html>
- ◆ SEI, 2008. Stockholm Environment Institute. Responsable del Software LEAP (Long-Range Energy Alternatives Planning Systems), v 2008.0.0.96. www.sei-us.org.
- ◆ SEMARNAT, 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. La Gestión Ambiental en México.
- ◆ SEMARNAT, 2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, capítulo 3 Suelos. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Revisado (20/05/2011) In: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/03_suelos/index_suelos.html
- ◆ SEMARNAT, 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estrategia Nacional de Cambio Climático. http://www.jetto.go.jp/mexico/topics/20071017878-topics/Semarnat_Estrategia_Nal_Cambio_Climatico_Cervantes.pdf
- ◆ SEMARNAT, 2009. Secretaría de Recursos Naturales. 4ta. Comunicación Nacional ante la UNFCCC.

- ◆ SEMARNAT, 2009a. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 380 p.
- ◆ SEMARNAT, 2009b. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático. México, D.F. 227 p.
- ◆ SEMARNAT, 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Efectos del cambio climático en recursos hídricos de México, vol. 3. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. 164p.
- ◆ SEMARNAT, 2011. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Primera, Segunda, Tercera y Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- ◆ SEMARNAT, 2011. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Vulnerabilidad y Adaptación http://www.semarnat.gob.mx/temas/cambioclimatico/Documents/enac/sintesis/070110%20HENAC.2.VYA_compl.pdf
- ◆ SEMARNAT-CONANP, 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Monitoreo de aves focales de la reserva se la Biosfera la Michilía, Durango.
- ◆ SEMARNAT-INE, 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. Reserva de la Biosfera Mapimí. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/2/mapimi.html>
- ◆ SEMARNAT-INE, 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. Proyecciones de Cambio Climático Regionalizadas para México. Revisado (30/01/2012) In: <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios/>.
- ◆ SEMARNAT–SAGARPA–FIRCO, 2011. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación-Fideicomiso de Riesgo Compartido. Reunión de Proveedores de Bienes y Servicios de Sistemas de Energía Renovable. Acciones de Transversalidad y Coordinación.
- ◆ SEMARNAT-SHCP, 2009. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales–Secretaría de Hacienda y Crédito Público. La Economía del Cambio Climático en México. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental Dirección General Adjunta de Financiamiento Estratégico. Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209, Col. Jardines en la Montaña, C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F. Impreso en México, agosto 2009. 80 p. ISBN 978-968-817-938-3.
- ◆ SEMARNAT-UNDP, 2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-United Nations of Development Programme. Indicadores Básicos de Desempeño Ambiental en México, 2005. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Consultado (10/10/2009).

- ◆ SEMART, 2009. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 4ta. Comunicación Nacional de México ante la CMNUCC. <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc4s.pdf>
- ◆ Semenov M. A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Clim Res.* Vol. 35: 203–212. doi: 10.3354/cr00731.
- ◆ SENDECO2, 2012. Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono. http://www.sendeco2.com/es/precio_co2.asp?ssidi=1.
- ◆ SENER, 2005. Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía, 2005. http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/balance2005.pdf.
- ◆ SIACON, 2010. Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426.
- ◆ SIAP, 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado, consultado en <http://www.siap.gob.mx/>
- ◆ SIAP-SAGARPA, 2007. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Situación actual y perspectivas del frijol en México. 100p.
- ◆ Simonson W. R., 1997. Early teaching in USA of Dokuchaiev factors of soil formation. *Soil Sci. Am. J.* 61: 11-16.
- ◆ Sirohi S., A. Michaelowa and S. K. Sirohi., 2007. Mitigation options for enteric methane emissions from dairy animals: an evaluation for potential CDM projects in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Changes.* 12:259-274. DOI:10.1007/S11027-005-9012-7.
- ◆ Sivakumar M. V. K., Das H. P. and Brunini O., 2005. Impacts of Present and Future Climate Variability and Change on Agriculture and Forestry in the Arid and Semi-Arid Tropics. Chapter 2: 31-72. En: Sivakumar and Motha (ed.) *Increasing climate variability and change. Reducing the Vulnerability of Agriculture and Forestry.* Salinger, Reprinted from *Climatic Change* Volume 70, Nos. 1–2, 2005
- ◆ Tan G. & Shibasaki R., 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling*, 168 (3): 357-370.
- ◆ Tebaldi C. & Knutti R., 2010. Climate Models and Their Projections of Future Changes. Chapter 3:31-56 En: D. Lobell and M. Burke (eds.), *Climate Change and Food Security, Advances in Global Change Research* 37
- ◆ TERI, 2009. The Energy and Resources Institute. Resource Book on Climate Change. Darbari Seth Block IHC Complex, Lodhi Road New Delhi – 110 003, India. 132 pp.
- ◆ The National Academies, 2001. *Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions.* Committee on the Science of Climate Change – National Research Council. Washington DC. 42 pp.
- ◆ The National Academies, 2006. *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years.* Committee on Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years - National Research Council. Washington DC. 161 pp.

- ◆ The National Academies, 2008. Understanding and responding to climate change. National Academy of Sciences - National Academy of Engineering - Institute of Medicine - National Research Council. Washington DC. 28 pp.
- ◆ The National Academies, 2009. Restructuring Federal Climate Research to Meet the Challenges of Climate Change. Committee on Strategic Advice on the U.S. Climate - Change Science Program - National Research Council. Washington DC. 267 pp.
- ◆ The National Academies, 2010. Climate Stabilization Targets: Emissions, Concentrations, and Impacts over Decades to Millennia. Committee on Stabilization Targets for Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations - National Research Council. Washington D.C. 243 pp.
- ◆ Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A., 2009. Forest resilience, biodiversity, and climate change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43, 67 p.
- ◆ Torrecilla C., 2008. Técnicas de interpolación espacial deterministas y exactas: media ponderada por el inverso de la distancia y funciones de base radial. Cap. del Libro: Sistemas y Análisis de la Información Geográfica, manual de autoaprendizaje con ArcGis, 2da ed. Ed. ALFAOMEGA-Ra-Ma. Compilación coordinada por Antonio Moreno Jiménez. Impreso en México. 908 p. ISBN: 978-970-15-1366-8.
- ◆ Torres-Rojo J. M., 2011. La Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras y las acciones de la Comisión Nacional Forestal. Memoria del Foro Binacional (México-USA) sobre Desertificación y Sequía en relación con el Cambio Climático. Zacatecas, 10-12 de agosto de 2011.
- ◆ Trethowan R. M., Turner M. A. and Chattha T. M., 2010. Breeding Strategies to Adapt Crops to a Changing Climate. Chapter 9: 155-174. En: D. Lobell and M. Burke (eds.), Climate Change and Food Security, Advances in Global Change Research 37
- ◆ UN, 1998. Naciones Unidas. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- ◆ UN-AGENDA 21, 1992. Cumbre de la Tierra, Programa 21. Programa de Acción de las Naciones Unidas de Rio. UN Department of Economic and Social Affairs, Division for sustainable Development. Revisado (03/06/2011) In: http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/
- ◆ UNDP, 2007. United Nations Development Programme. World Population Prospects: The 2006 Revision Population Database. UNO, NY.
- ◆ UNFCCC, 2011. United Nations-Framework Convention on Climate Change. The Landscape of Climate Finance. http://unfccc.int/files/cancun_agreements/green_climate_fund/application/pdf/submission_by_cpi_on_climate_finance_landscape_excerpt.pdf

- ◆ UNFCCC, 2004. United Nations-Framework Convention on Climate Change. Informando sobre el cambio climático. Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las partes no-Anexo I de la CMNUCC. http://unfccc.int/resource/userman_nc_sp.pdf
- ◆ UNFCCC, 2006. United Nations-Framework Convention on Climate Change. Technologies for adaptation to climate change.
- ◆ UNFCCC, 2007. United Nations-Framework Convention on Climate Change. Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries
- ◆ UNFCCC-COP, 2003. United Nations-Framework Convention on Climate Change-Conference of the Parties. A Brief Overview of Decisions. <http://unfccc.int/documentation/decisions/items/2964txt.php>
- ◆ Vázquez A. J. L., 2010. Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT). Desarrollada en el marco del Proyecto: Fortalecimiento de capacidades en detección de cambio climático en México. 88 p.
- ◆ Ven Te Chow, Maidment, R. David y Mays, W. Larry, 1994. Hidrología Aplicada. Primera ed. en Español, Ed. McGraw-HILL, Inc. Impreso en Colombia 2000.
- ◆ Weihermüller L., M. Lamers, M. Reichstein, 2011. Introduction on to production, transport, and emission of trace gases from the vadose zone to the atmosphere. *Vadose Zone J.* 10:151–155. doi:10.2136/vzj2010.0117.
- ◆ Welch C., 2011. Taller para la elaboración de estudios de vulnerabilidad, realizado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- ◆ White W. J. & Hoogenboom G., 2010. Crop Response to Climate: Ecophysiological Models. Chapter 4: 59-83 En: D. Lobell and M. Burke (eds.), *Climate Change and Food Security, Advances in Global Change Research* 37.
- ◆ Wilby, L. R., Zorita, E., Timbal, B., Whett, P., Mearns, L. O. and Charles, S. P., 2004. Guidelines for use of Climate Scenario Developed from Statistical Downscaling Methods. Environmental Agency of England and Wales, UK. 27 pp.
- ◆ Wilby, R. L. & Dawson, C. W., 2007. SDSM Version 4.2 – A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual. 94 pp.
- ◆ Wilby, R., 2007. Decadal Climate Forecasting Techniques for adaptation and development planning. A briefing document on Available Methods, Constraints, Risks and Opportunities. Report for the UK Government's Department for International Development. 54 pp.
- ◆ Williams, J.R., 1995. The EPIC Model. In: Singh, V.P. (Ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, USA, pp. 909–1000.
- ◆ Wreford A., Moran D. and Adger N., 2010. Climate Change and Agriculture. Impacts, adaptation and mitigation. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). 139 pp.

- ◆ Zalewski M., 2011. Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future. Book Review. *Vadose Zone J.* 10:773–777. doi:10.2136/vzj2010.0137br
- ◆ Zhang, X. C. et al., 2004. Downscaling monthly forecasts to simulate impacts of climate change on soil erosion and wheat production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1376-1385.
- ◆ Ziervogel G., Cartwright A., Tas A., Adejuwon J., Zermoglio F., Shale M. and Smith B., 2008. Climate change and adaptation in African agriculture. Prepared for Rockefeller Foundation By Stockholm Environment Institute. 54 pp.