

Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral de las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta

Programa de adaptación a las
consecuencias de cambio climático en
la provisión de servicios de la cuenca del
Grijalva



Volumen I Diagnóstico Integrado con Identificación de Áreas Prioritarias

Noviembre, 2013



Índice de contenidos

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	13
1. INTRODUCCIÓN	20
1.1 Objetivos y metas del PAOM	21
1.2 Objetivos del Diagnóstico	21
1.3 El PAOM, el crecimiento verde y la política nacional de adaptación	22
1.4 Contenido del documento	24
2. MARCO CONCEPTUAL Y REGIONALIZACIÓN	26
2.1 Principales conceptos	26
2.2 Enfoque y sistemas de análisis	28
2.3 Regionalización	30
3. METODOLOGÍA	36
3.1 Sistema de Información Geográfica (SIG)	40
3.2 Mapa de actores	41
3.3 Entrevistas con actores clave	43
3.4 Talleres	44
4. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS	45
4.1 Dos polos: Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez	46
4.2 Algunos datos relevantes de Chiapas y Tabasco en 2010	49
4.3 Panorama socioeconómico por agrupamiento	63
4.3.1 Alto Grijalva	72
4.3.2 Bajo Grijalva	76
4.3.3 Bajo Usumacinta	77
4.3.4 Lacantún–Chixoy	79
4.3.5 Ríos de la Sierra	82
4.3.6 Tulijáh-Chilapa	84
4.4 Conclusiones	85
5. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA	88
5.1 Ubicación y contexto fisiográfico	88
5.2 Composición del medio natural	91
5.3 Dinámica hídrica	92
5.4 Uso de suelo y vegetación	95
5.4.1 Escenarios futuros sobre patrones de cobertura forestal	98
5.4.2 Degradación de la vegetación y suelos	104

5.5 Propuesta de unidades hidrográficas	107
5.5.1 Unidades hidrográficas Alto y Bajo Grijalva	113
5.5.2 Unidades hidrográficas Lacantún-Chixoy y Usumacinta	114
5.5.3 Unidades hidrográficas Ríos de la Sierra y Tulijáh	116
6. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y TENDENCIAS	118
6.1 Escenarios de cambio climático	118
6.2 Identificación de tendencias climáticas	137
7. ANÁLISIS DE IMPACTOS POR RIESGOS CLIMÁTICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO	140
7.1 Introducción	140
7.2 Impactos del cambio climático en la hidrología superficial	141
7.2.1 Introducción	141
7.2.2 Problemática principal	146
7.2.3 Estudios previos	147
7.2.4 Cambios en el escurrimiento superficial	148
7.2.5 Comparación de los resultados obtenidos utilizando modelos hidrológicos tipo lluvia-escorrentía	154
7.2.6 Reflexiones	156
7.3 Impactos económicos y sociales	157
7.3.1 Introducción	157
7.3.1.1 Los desastres naturales y la economía del cambio climático	158
7.3.1.2 El impacto de los eventos climáticos extremos en la cuenca Grijalva-Usumacinta	159
7.3.1.3 Daños ocasionados y esperados por un evento climático extremo	163
7.3.2 Impacto en sectores económicos	164
7.3.2.1 Microempresas en hogares y actividades de traspato	164
7.3.2.2 Agricultura	165
7.3.2.3 Ganadería	168
7.3.2.4 Acuacultura y pesca	168
7.3.2.5 Sectores no agrícolas	169
7.3.3 Impacto en sectores sociales	171
7.3.3.1 Vivienda	171
7.3.3.2 Sector salud	172
7.3.3.3 Educación	173
7.3.3.4 Infraestructura	174
7.3.3.5 Daños a servicios urbanos ambientales	175
7.3.4 Evaluación de los costos del cambio climático en el sector agrícola	175
7.3.4.1 Datos y estadística	179
7.3.4.2 Efectos del clima sobre la producción agrícola	179
7.3.4.3 Regresión de los rendimientos agrícolas en caso del maíz de temporal	180

7.3.4.4 El cambio climático y su impacto en la producción de café en Chiapas	184
7.3.5 El impacto del cambio climático en la línea costera de Tabasco	187
7.3.6 Discusión y conclusión	193
8. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	198
8.1 Diagnóstico de vulnerabilidad: perspectiva nacional	198
8.1.1 Resultados principales	199
8.2. Análisis de vulnerabilidad: perspectiva regional	205
8.2.1. Cálculo de los indicadores de vulnerabilidad regional	205
8.3 Resultados	206
8.3.1 Índice de Vulnerabilidad Grijalva-Usumacinta	206
8.3.2 Resultados del Índice Ambiental Grijalva-Usumacinta	208
8.3.3 Resultados del Índice Socioeconómico Grijalva-Usumacinta	211
8.3.4 Capacidades Institucionales	214
8.4 Conclusiones	215
9. PROPUESTA DE ÁREAS DE ATENCIÓN PRIORITARIA	218
9.1 Proceso para la selección de áreas prioritarias	218
9.2 Propuesta de áreas prioritarias	219
9.3 Conclusiones	230
10. ANÁLISIS Y PROPUESTAS PARA LA ESTRUCTURA INSTITUCIONAL DEL PAOM	232
10.1 Introducción	232
10.2 Marco institucional vigente en materia de cambio climático	232
10.2.1 Marco federal	232
10.2.2 Marco estatal	241
10.2.3 Marco municipal	244
10.3 Experiencias de coordinación horizontal y vertical relevantes para la instrumentación del PAOM	245
10.4 Institucionalidad para la gestión del agua en México e institucionalidad en la cuenca del Grijalva Usumacinta	253
10.5 Procesos para la asignación de recursos presupuestales a proyectos de gestión ambiental en los niveles estatal y municipal	258
10.6 Lecciones para el PAOM de las experiencias revisadas	259
10.7 Hacia la construcción de un marco institucional para el PAOM	262
CONCLUSIONES	262
REFERENCIAS	274
ANEXOS	288

Índice de Figuras

Figura 1.1.	Evolución de la política nacional de adaptación	23
Figura 1.2.	Proceso para el diseño del PAOM.	24
Figura 2.1.	Enfoque territorial de cuenca.	29
Figura 3.1.	Marco metodológico.	37
Figura 3.2.	Organización de la cartografía digital.	41
Figura 3.3.	Mapa de actores.	43
Figura 4.1.	Chiapas: superficie sembrada por tipo de cultivo.	59
Figura 4.2.	Porcentaje de población de la cuenca Grijalva-Usumacinta distribuida en las seis regiones.	63
Figura 4.3.	Porcentaje de la población por agrupamiento según tamaño de localidad, 2010.	64
Figura 4.4.	Población por edades y agrupamientos, 2010.	67
Figura 4.5.	Valor de la producción (miles de pesos) por actividad y agrupamiento, 2010.	67
Figura 4.6.	Superficie sembrada por principales cultivos y por agrupamiento, 2010.	68
Figura 4.7.	Valor de la producción por principales cultivos (miles de pesos), 2010.	69
Figura 4.8.	Merma [ha] por agrupamiento, 2010.	70
Figura 4.9.	Superficie sembrada de temporal, riego y mecanizada (ha), 2010.	70
Figura 4.10.	Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto, 2010.	71
Figura 4.11.	Producción (ton) de madera, 2010.	71
Figura 4.12.	Superficie sembrada (a) y valor monetario (b) por principales cultivos en el Alto Grijalva, 2010.	74
Figura 4.13.	Valor de la producción (miles de pesos) por principales cultivos, 2010, en el Bajo Grijalva.	77
Figura 4.14.	Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto, 2010 en el Bajo Usumacinta.	78
Figura 4.15.	Distribución de la población por grupos de edad, 2010.	82
Figura 4.16.	Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto en Ríos de la Sierra, 2010.	84
Figura 4.17.	Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto en Tulijáh-Chilapa, 2010.	86
Figura 5.1.	Diagrama esquemático del sistema de presas del río Grijalva.	94
Figura 5.2.	Cambios en la cobertura forestal de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta 2000, 2010, 2015 y 2039.	101
Figura 5.3.	Cambios en la cobertura forestal de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta 1993, 2007, 2030 y 2050.	104
Figura 6.1.	Escenarios RCP en el tiempo.	120

Figura 6.2.	Resultados para temperatura media: CRU, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.	123
Figura 6.3.	Resultados para temperatura máxima: CRU, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.	124
Figura 6.4.	Resultados para temperatura mínima: CRU, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.	126
Figura 6.5.	Proyección de cambio de temperatura (°C) DJF.	127
Figura 6.6.	Proyección de cambio de temperatura (°C) MAM.	127
Figura 6.7.	Proyección de cambio de temperatura (°C) JJA.	128
Figura 6.8.	Proyección de cambio de temperatura (°C) SON.	128
Figura 6.9.	Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) DJF.	129
Figura 6.10.	Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) MAM.	129
Figura 6.11.	Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) JJA.	130
Figura 6.12.	Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) SON.	131
Figura 6.13.	Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) DJF.	131
Figura 6.14.	Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) MAM.	132
Figura 6.15.	Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) JJA.	132
Figura 6.16.	Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) SON.	133
Figura 6.17.	Decremento de precipitación bajo el escenario RCP 4.5 por región.	134
Figura 6.18.	Decremento de precipitación bajo el escenario RCP 6 por región.	134
Figura 6.19.	Decremento de precipitación bajo el escenario RCP 8.5 por región.	135
Figura 6.20.	Proyección de cambio de precipitación (mm/d) DJF.	136
Figura 6.21.	Proyección de cambio de precipitación (mm/d) MAM.	136
Figura 7.1.	Efectos de la precipitación anual en el Alto Grijalva (escenarios A1B y A2).	147
Figura 7.2.	Resumen de la comparación de los resultados obtenidos con la metodología del IMTA y la aplicación de modelos hidrológicos tipo lluvia-escurrentía en las subcuencas de los ríos Grijalva y Lacantún.	156
Figura 7.3.	Ciclo de respuestas políticas sobre cambio climático.	158
Figura 7.4.	Chiapas: Número de eventos extremos y daños asociados 2000-2010.	160
Figura 7.5.	Tabasco: Número de eventos extremos y daños asociados 2003-2010.	160
Figura 7.6.	Población afectada por eventos climáticos extremos.	162
Figura 7.7.	Tabasco: daños y pérdidas por eventos extremos 2007.	164
Figura 7.8.	Chiapas: superficie sembrada por tipo de cultivo.	176
Figura 8.1.	Resultados principales del diagnóstico de vulnerabilidad en la ENCC.	200

Figura 8.2.	Marco conceptual presión-estado-respuesta (SPR).	202
Figura 10.1.	Estructura y funcionamiento de la CONAGUA.	254
Figura 10.2.	Propuesta de CONABIO.	264

Índice de Cuadros

Cuadro 2.1.	Características de las unidades hidrológicas.	33
Cuadro 4.1.	Comparativo de características de la población a nivel estatal.	50
Cuadro 4.2.	Comparativo de las actividades económicas a nivel estatal.	51
Cuadro 4.3.	Proyectos hidroeléctricos en etapa de factibilidad y diseño en la región Grijalva-Usumacinta.	53
Cuadro 4.4.	Datos socioeconómicos para las agrupaciones municipales.	66
Cuadro 4.5.	Valor de la producción por actividad productiva y aportación proporcional en 2010 en el Alto Grijalva.	73
Cuadro 4.6.	Volumen de la producción pecuaria (ton) por producto en 2010 en el Alto Grijalva.	74
Cuadro 4.7.	Producción forestal por producto en el Alto Grijalva, 2010.	75
Cuadro 4.8.	Volumen de la producción pecuaria (ton) por producto, 2010 en el Bajo Usumacinta.	79
Cuadro 4.9.	Producción forestal por producto, 2010. Lacantún-Chixoy.	81
Cuadro 5.1.	Desagregación de bosque primario y secundario (hectáreas), 1993-2007.	98
Cuadro 5.2.	Cobertura forestal 2000, 2010, 2015 y 2039.	101
Cuadro 5.3.	Total de bosque por UH.	105
Cuadro 5.4.	Bosque secundario por UH.	105
Cuadro 5.5.	Valores de coberturas vegetales.	106
Cuadro 6.1.	Modelos de Circulación General.	119
Cuadro 6.2.	Descripción de los escenarios de cambio climático RCP.	119
Cuadro 6.3.	Escenarios de cambio climático.	121
Cuadro 7.1.	Datos principales de las hidroeléctricas del sistema del Alto Grijalva.	144
Cuadro 7.2.	Distribución de la cuenca del Río Usumacinta.	145
Cuadro 7.3.	Condiciones hidrológicas históricas y esperadas para el futuro cercano, 2015-2039 (escala anual).	151
Cuadro 7.4.	Condiciones hidrológicas históricas y esperadas para el futuro lejano, 2075-2099 (escala anual).	152
Cuadro 7.5.	Reducción porcentual del caudal medio del río Lacantún en Aguas Verdes II (%).	154

Cuadro 7.6.	Reducción porcentual del caudal medio del río Gijalva a nivel de la presa Peñitas (%).	155
Cuadro 7.7.	Chiapas y Tabasco. Daños y pérdidas 2000-2010.	159
Cuadro 7.8.	Chiapas: Municipios con mayor número de eventos climáticos extremos.	161
Cuadro 7.9.	Tabasco: Municipios con mayor número de eventos climáticos extremos.	161
Cuadro 7.10.	Estimación de población afectada y eventos extremos.	162
Cuadro 7.11.	Tabasco: impacto económico de eventos extremos, 2007.	163
Cuadro 7.12.	Tabasco: población afectada, 2007.	165
Cuadro 7.13.	Tabasco: daños por actividad económica en viviendas, 2007.	166
Cuadro 7.14.	Tabasco: municipios con mayor vulnerabilidad en agricultura a eventos climáticos extremos.	167
Cuadro 7.15.	Tabasco: municipios con mayor vulnerabilidad en ganadería a eventos climáticos extremos.	169
Cuadro 7.16.	Tabasco: producción de petróleo por día.	170
Cuadro 7.17.	Tabasco: municipios con mayor número de inundaciones y efecto en la producción de PEMEX.	170
Cuadro 7.18.	Tabasco: alumnos y docentes afectados 2007.	174
Cuadro 7.19.	Impactos sobre los rendimientos medios de maíz por ha, utilizando métodos de panel con errores estándar corregidos (PCSE) y estimaciones de ecuaciones generalizadas (GEE).	182
Cuadro 7.20.	Cuenca Grijalva-Usumacinta: cambios en la producción de maíz por cambio climático.	183
Cuadro 7.21.	Estimaciones de la producción de café en función a variables climáticas.	186
Cuadro 7.22.	Cuenca Grijalva-Usumacinta: cambios en la producción de café por cambio climático.	188
Cuadro 7.23.	Impactos del cambio climático para las zonas costeras.	191
Cuadro 7.24.	Superficie afectada por un posible aumento de 1 metro sobre el nivel medio del mar.	192
Cuadro 7.25.	Caracterización de las zonas fisiográficas de Tabasco correspondientes a zona de inundación (expresado en hectáreas).	192
Cuadro 7.26.	Cuenca Grijalva-Usumacinta: eventos climáticos extremos 2000-2010.	194
Cuadro 7.27.	Cuenca Grijalva-Usumacinta: resumen de impactos, daños y vulnerabilidad ante riesgos climáticos.	196
Cuadro 8.1.	Matriz de vulnerabilidad ponderada.	204
Cuadro 8.2.	Resultados del Índice de Vulnerabilidad regional por municipio.	207
Cuadro 8.3.	Municipios con mayor vulnerabilidad por cobertura forestal.	209
Cuadro 8.4.	Municipios con mayor vulnerabilidad a los riesgos hidrometeorológicos.	210

Cuadro 8.5.	Municipios con mayor vulnerabilidad por sus servicios ambientales.	210
Cuadro 8.6	Municipios con mayor vulnerabilidad en Índice de Degradación de Suelos.	210
Cuadro 8.7.	Municipios con mayor vulnerabilidad socioeconómica.	213
Cuadro 8.8.	Municipios más vulnerables por densidad poblacional.	214
Cuadro 9.1.	Criterios de selección para el área prioritaria 1.	221
Cuadro 9.2.	Criterios de selección para el área prioritaria 2.	223
Cuadro 9.3.	Criterios de selección para el área prioritaria 3.	225
Cuadro 9.4.	Criterios de selección para el área prioritaria 4.	227
Cuadro 9.5.	Criterios de selección para el área prioritaria 5.	229
Cuadro 10.1.	Distribución de competencias y atribuciones de acuerdo a la LGCC.	233
Cuadro 10.2.	Instrumentos de política de cambio climático a nivel federal y estatal.	234
Cuadro 10.3.	Instrumentos de la Administración Pública Federal (APF) relevantes para el PAOM y oportunidades para generar sinergias.	242
Cuadro 10.4.	Dimensiones de la integración institucional para el PAOM y elementos asociados a la transversalidad, la coordinación y la operación integrada.	246

Índice de Mapas

Mapa 2.1.	Agrupamientos y unidades hidrográficas del Grijalva-Usumacinta.	32
Mapa 4.1.	Dinámica y flujos del sistema de ciudades.	48
Mapa 4.2.	Instalaciones de PEMEX en Tabasco.	52
Mapa 4.3.	Concesiones mineras y Áreas Naturales Protegidas en México.	58
Mapa 4.4.	Grado de marginación a nivel municipal.	60
Mapa 4.5.	Municipios incluidos en el programa Cruzada Nacional contra el Hambre de la región Grijalva-Usumacinta.	61
Mapa 4.6.	Municipios indígenas de la región.	62
Mapa 5.1.	Ubicación y extensión de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	89
Mapa 5.2.	Contexto fisiográfico de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	90
Mapa 5.3.	Precipitación media anual en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	92
Mapa 5.4.	Temperatura media anual en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	93
Mapa 5.5.	Principales corrientes y cuerpos de agua de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	95

Mapa 5.6.	Subcuencas del sistema Grijalva-Usumacinta.	96
Mapa 5.7.	Cobertura arbórea y ANPs en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	97
Mapa 5.8.	Escenarios futuros de cobertura forestal 2015-2039.	100
Mapa 5.9.	Ventanas móviles de deforestación para el periodo de tiempo 1993-2007.	102
Mapa 5.10.	Escenarios futuros de cobertura forestal 2030-2050.	103
Mapa 5.11.	Mapa de pendiente (%) para la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	108
Mapa 5.12.	Mapa de la estacionalidad de la precipitación (CV) expresada en porcentaje.	108
Mapa 5.13.	Índice de Erosión Potencial para la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.	109
Mapa 5.14.	Relación de la erosión con las características geográficas y sociales de la cuenca Grijalva-Usumacinta.	110
Mapa 5.15.	Relación de la erosión con las características geográficas y sociales de la cuenca Grijalva.	111
Mapa 5.16.	Relación de la erosión con las características geográficas y sociales de la cuenca Usumacinta.	112
Mapa 5.17.	Área de estudio en México de los ríos Grijalva y Usumacinta (Unidades Hidrográficas).	113
Mapa 6.1.	Cuenca Grijalva-Usumacinta y malla de cálculo (0.50 x 0.50 grados).	121
Mapa 7.1.	Sistema hidroeléctrico en el Alto Grijalva.	143
Mapa 7.2.	Cuenca del Río Usumacinta.	145
Mapa 7.3.	Condiciones históricas anuales para precipitación y escurrimiento.	151
Mapa 7.4.	Índices de Escurrimiento Superficial.	152
Mapa 7.5.	Zonas de inundación en Tabasco.	171
Mapa 7.6.	Caída en la productividad del maíz a nivel municipal: escenarios RCP 6, futuro cercano y lejano.	185
Mapa 7.7.	Caída en la productividad de café a nivel municipal: escenarios de cambio climático.	189
Mapa 7.8.	Zonas con opción de adaptación de acuerdo a la altura para cultivo del café: escenario RCP 8.5 futuro cercano y lejano.	190
Mapa 7.9.	Pérdida de costa por el aumento del nivel del mar.	192
Mapa 8.1.	Municipios con alta vulnerabilidad y alto riesgo ante eventos climáticos.	201
Mapa 8.2.	Vulnerabilidad Grijalva-Usumacinta.	207
Mapa 8.3.	Índice de Vulnerabilidad Ambiental.	209
Mapa 8.4.	Variables del Índice Ambiental.	211

Mapa 8.5.	Índice Socioeconómico.	213
Mapa 8.6.	Variables del Índice Socioeconómico.	215
Mapa 9.1.	Propuesta de áreas de atención prioritaria.	220
Mapa 9.2.	Mapa base del área prioritaria 1.	220
Mapa 9.3.	Mapa base del área prioritaria 2.	222
Mapa 9.4.	Líneas de infraestructura prioritaria en el área prioritaria 2.	223
Mapa 9.5.	Mapa base del área prioritaria 3.	224
Mapa 9.6.	Infraestructura carretera y derrumbes en el área prioritaria 3.	225
Mapa 9.7.	Infraestructura carretera y derrumbes en el área prioritaria 4.	226
Mapa 9.8.	Riesgo de deforestación en el área prioritaria 4.	227
Mapa 9.9.	Mapa base del área prioritaria 5.	228
Mapa 9.10.	Uso del suelo y vegetación en el área prioritaria 5.	229

Siglas, abreviaturas y acrónimos

SIGLA	SIGNIFICADO
ADS	Agencias de Desarrollo Sustentable
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AFD	Agencia Francesa de Desarrollo
ANPs	Áreas Naturales Protegidas
APF	Administración Pública Federal
APFFLT	Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos
AR5	Quinto Reporte de Evaluación
ATL	Agentes Técnicos Locales
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
Cadena	Componente de Atención a Desastres Naturales
CBM-M	Corredor Biológico Mesoamericano
CCA-UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México
CCRB	Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos
CDI	Comision Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CENTROGEO	Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo”, A.C.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CICESE	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CMIP5	Proyecto de Inter-Comparación de Modelos Acoplados, Fase 5 (por sus siglas en inglés)
CMM	Centro Mario Molina
COCYP	Central de Organizaciones Campesinas y Populares
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONAPRED	Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación
COPLADET	Comité de Planeación para el Desarrollo de Tabasco

COUSSA	Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua
CRU	Climate Research Unit (Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia)
CV	Variable Bioclimática de Estacionalidad de la Precipitación
DIF	Desarrollo Integral de la Familia
DJF	Diciembre-Enero-Febrero
DOF	Diario Oficial de la Federación
DRBSM	Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán
ECAAP	Estrategia de Cambio Climático para Áreas Protegidas
ECOSUR	Colegio de la Frontera Sur
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FC	Futuro Cercano
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FL	Futuro Lejano
FLNS	Frente Nacional de Lucha por el Socialismo
FONDEN	Fondo de Desastres Naturales
FOPREDEN	Fondo para la Prevención de Desastres Naturales
FORDECyT	Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación
GEE	Estimaciones de Ecuaciones Generalizadas
GEI	Gas de Efecto Invernadero
GESE	Grupo Estatal de Servicios Ecosistémicos
GGGI	Global Green Growth Institute (Instituto Global sobre Crecimiento Verde)
ha	Hectárea (s)
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IES	Índice de Escurrimiento Superficial
IIGICRA	Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Ayuquila
IMECBIO	Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INE/CCS	División de Cambio Climático y Sostenibilidad
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INMUJERES	Instituto Nacional de las Mujeres
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
ISRIC	Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (por sus siglas en inglés)

JIRA	Junta Intermunicipal del Río Ayuquila
JJA	Junio-Julio-Agosto
km ²	Kilómetro cuadrado
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética
LAMCC	Ley para la Adaptación y Mitigación del Cambio Climático
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGPC	Ley General de Protección Civil
LPA	Ley de Protección Ambiental
m	Metro
m ³	Metros cúbicos
M4	Movimiento Mesoamericano contra el Modelo Extractivo Minero
MAM	Marzo-Abril-Mayo
MCG	Modelos de Circulación Global
MDE	Modelo Digital de Elevación
mdp	Millones de pesos
MH	Modelo Hidrológico
MOCRI-CNPA MN	Movimiento Campesino Regional Independiente –Coordinadora Nacional Plan de Ayala– Movimiento Nacional
MOVIAC	Movimiento Mexicano de Alternativas a las Afectaciones Ambientales y al Cambio Climático
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
MW	Megawatt
OCEZ	Organización Campesina Emiliano Zapata
OECD	Organización para Cooperación Económica y Desarrollo (por su siglas en inglés)
OPEZ	Organización Proletaria Emiliano Zapata
PACMUN	Planes de Acción Climática Municipal
PAOM	Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral
PCSE	Panel con Errores Estándar Corregidos
PDF	Funciones de Distribución de Probabilidad
PDU	Planes de Desarrollo Urbanos
PEACC	Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PEOT	Programas Estatales de Ordenamiento Territorial
PESA	Programa de Seguridad Alimentaria
PESL	Programa Especial para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la Selva Lacandona
PET	Programa de Empleo Temporal

PIB	Producto Interno Bruto
PND	Plan Nacional de Desarrollo
POA	Programa Operativo Anual
POEGT	Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio
POISE	Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico
PPT	Precipitación Total Mensual
PRAH	Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos
PROCAMPO	Programa de Apoyos Directos al Campo
PROCOCES	Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible
PROGAN	Programa de Estímulos a la Productividad Ganadera
PRONAFOR	Programa Nacional Forestal
RBPC	Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla
RCP	Vías de Concentración Representativas (por sus siglas en inglés)
REA	Reliability Ensemble Averaging (Método Fiabilidad del Ensamble Ponderado)
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
REMA	Red Mexicana de Afectados por la Minería
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SE	Secretaría de Energía
SECTUR	Secretaría de Turismo
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDER	Secretaría de Desarrollo Rural
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMADES	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SIAT-CT	Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales
SIG	Sistema de Información Geográfica
SINAPROC	Sistema Nacional de Protección Civil
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SNCC	Sistema Nacional de Cambio Climático
SON	Septiembre-Octubre-Noviembre
SPR	Presión-Estado-Respuesta (por su siglas en inglés)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSA	Secretaría de Salud
tonCO ₂	Toneladas de Dióxido de Carbono

UH	Unidad Hidrológica
UHAG	Unidad Hidrográfica Alto Grijalva
UHBG	Unidad Hidrológica Bajo Grijalva
UHL-C	Unidad Hidrológica Lacantún-Chixoy
UHRS	Unidad Hidrográfica Río de la Sierra
UHRT	Unidad Hidrográfica Río Tulijáh
UHU	Unidad Hidrológica Usumacinta
UJAT	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
URDERALES	Unidades de Riego para el Desarrollo Rural
USLE	Ecuación Universal de Pérdida de Suelos
UTM	Universal Transversa de Mercator
VCF	Vegetation Continuous Fields



1

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta es considerada por la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) como una región de alta vulnerabilidad y altos riesgos climáticos (CICC-SEMARNAT-INECC, 2013). La cuenca tiene una extensión de 13.2 millones de hectáreas y se ubica en la frontera colindante de México y Guatemala. En territorio mexicano, esencialmente se encuentra en los estados de Chiapas y Tabasco. En su unión, localizada a un poco más de 25 km de su desembocadura en el Golfo de México, se forma el delta Grijalva-Usumacinta, el cual es considerado uno de los deltas con mayor vulnerabilidad ante el posible aumento del nivel del mar, consecuencia del cambio climático (Nicholls *et al.*, 2007; INE-SEMARNAT, 2006). Dicha región, además, con frecuencia es afectada por huracanes que provienen tanto del océano Atlántico como del Pacífico, generando precipitaciones torrenciales y riesgos por inundaciones, así como deslaves que provocan importantes impactos socioeconómicos (INE-SEMARNAT, 2006; INECC-GGGI, 2013).

La cuenca Grijalva-Usumacinta es una región que concentra recursos con un potencial significativo para contribuir al desarrollo sustentable de México. Esta cuenca es un gran sistema hidrológico constituido por el río Usumacinta (el más caudaloso del país) y el río Grijalva (INE, 2000). Debido a sus altos índices de biodiversidad, a la gran cantidad de servicios ambientales que ofrece, a sus importantes recursos hídricos y a su gran diversidad cultural, entre otros factores, la región es considerada una zona estratégica. Además, este sitio proporciona importantes recursos energéticos. En el río Grijalva se genera más del 40% de la energía hidroeléctrica nacional, mientras que en la parte baja del Grijalva-Usumacinta, en Tabasco, se genera el 17% de la producción petrolera de México y el 22% de la producción de gas natural del país (PEMEX, 2013).

Sin embargo, la cuenca Grijalva-Usumacinta enfrenta retos significativos. Más del 66% de los 116 municipios que se encuentran dentro de la zona presentan un grado de marginación alto o muy alto (CONAPO, 2010). La región tiene una población de más de 6 millones de personas, de la cual, más del 31% vive en pobreza extrema y 32% sufre pobreza alimentaria (CONEVAL, 2010). Además, la ubicación de los municipios con mayor marginación coincide de manera importante con las áreas de mayor presencia indígena de la región.

Los retos de desarrollo de la zona podrían incrementarse como consecuencia del cambio climático. Los modelos utilizados como parte de este estudio, los cuales se discutirán más adelante, indican que, en las próximas décadas, la región experimentará cambios importantes en el régimen de precipitaciones y temperatura, así como mayores riesgos por eventos climáticos extremos. Se prevé que, de seguir con las tendencias actuales, la región estará expuesta a eventos climáticos extremos de mayor intensidad

(lluvias torrenciales, huracanes, etc.), los cuales tendrían impactos ambientales y socioeconómicos significativos que afectarían principalmente a las poblaciones más vulnerables. Estos factores hacen que la adaptación en la región sea considerada una cuestión estratégica y de enorme importancia para la seguridad nacional, tal y como ha sido evidenciado por las inundaciones recientes en la ciudad de Villahermosa. Debido a la gran extensión territorial de la región, así como a la complejidad de los retos que enfrenta, es fundamental desarrollar acciones de adaptación al cambio climático que sean espacialmente diferenciadas, buscando atender de manera prioritaria a las áreas geográficas y grupos poblacionales que enfrentarán mayores riesgos asociados al fenómeno.

1.1 Objetivos y metas del PAOM

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) acordó con el Gobierno de México contribuir con la preparación del presente estudio para el diseño del Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM) de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.

El objetivo del PAOM es incorporar una visión clara de adaptación al cambio climático y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes en la cuenca Grijalva-Usumacinta.

Este estudio tiene tres metas principales:

1. Proveer instrumentos de planificación, tales como una ruta estratégica y bases para su implementación.
2. Generar recomendaciones de carácter institucional y de gobernabilidad para el manejo de la cuenca y la ejecución de las tareas prioritarias previstas en el Plan.
3. Identificar acciones estratégicas y críticas que complementen el impacto de obras de infraestructura hídrica, promoviendo ajustes en uso del suelo, la protección y el manejo sustentable de ecosistemas.

1.2 Objetivos del Diagnóstico

Este documento presenta el *Diagnóstico Integrado con Identificación de Áreas Prioritarias*, con el objetivo principal de exponer el análisis sobre la problemática del cambio climático para la cuenca Grijalva-Usumacinta y la identificación de áreas de atención prioritaria para el PAOM.

El Diagnóstico tiene como meta contribuir e innovar en el desarrollo de la política nacional de adaptación, al aportar un análisis que centra su atención en la planeación

de la adaptación en el territorio a un nivel regional, con una visión de cuenca, lo cual es un aspecto que no se ha abordado hasta ahora. Esta visión requiere la construcción de una coordinación y colaboración multinivel, entre las autoridades del gobierno federal, el estatal de Chiapas y Tabasco y el de los municipios ubicados en áreas de atención prioritaria de la cuenca Grijalva-Usumacinta.

1.3 El PAOM, el crecimiento verde y la política nacional de adaptación

La política del Gobierno de México para responder al cambio climático se enmarca dentro de los esfuerzos del país para promover un crecimiento verde e incluyente. El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 señala que dicho crecimiento debe preservar el patrimonio natural y generar riqueza, competitividad y empleo. Por otra parte, el artículo 2 de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) tiene como uno de sus objetivos promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. En este mismo tenor, la ENCC plasma en su visión la aspiración de que el país logre un crecimiento sostenible y socialmente incluyente, para convertirse en una economía verde, con ecosistemas y poblaciones resilientes al cambio climático. En otras palabras, el crecimiento verde constituye una condición fundamental para atender las necesidades de la población, particularmente de los sectores más vulnerables, y generar los recursos necesarios para aumentar la resiliencia al cambio climático. Al mismo tiempo, la adaptación al cambio climático se vuelve indispensable para que los desastres ocasionados por eventos climáticos no reviertan ni disminuyan los esfuerzos que se llevan a cabo en México para reducir la pobreza y alcanzar metas de desarrollo.

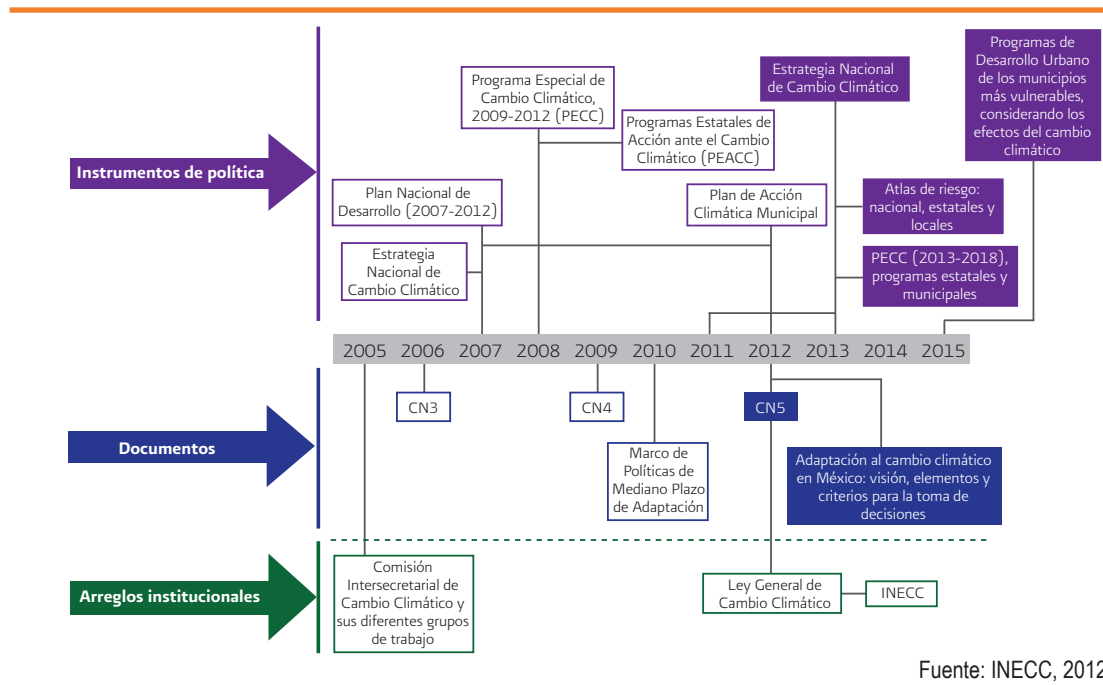
De manera adicional a estas orientaciones de política, el desarrollo de este estudio ha coincidido con una etapa de gran dinamismo en el diseño e instrumentación de la política nacional de cambio climático (Figura 1.1).

La ENCC, publicada el 3 de junio de 2013, define tres ejes estratégicos en temas de adaptación, con los cuales se alinea el presente documento:

1. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.
2. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura energética y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático.
3. Conservar y hacer un uso sustentable de los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que éstos proveen.

Existe una ventana de oportunidad para que este estudio sirva de insumo para el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) que se encuentra en desarrollo.

Figura 1.1. Evolución de la política nacional de adaptación.

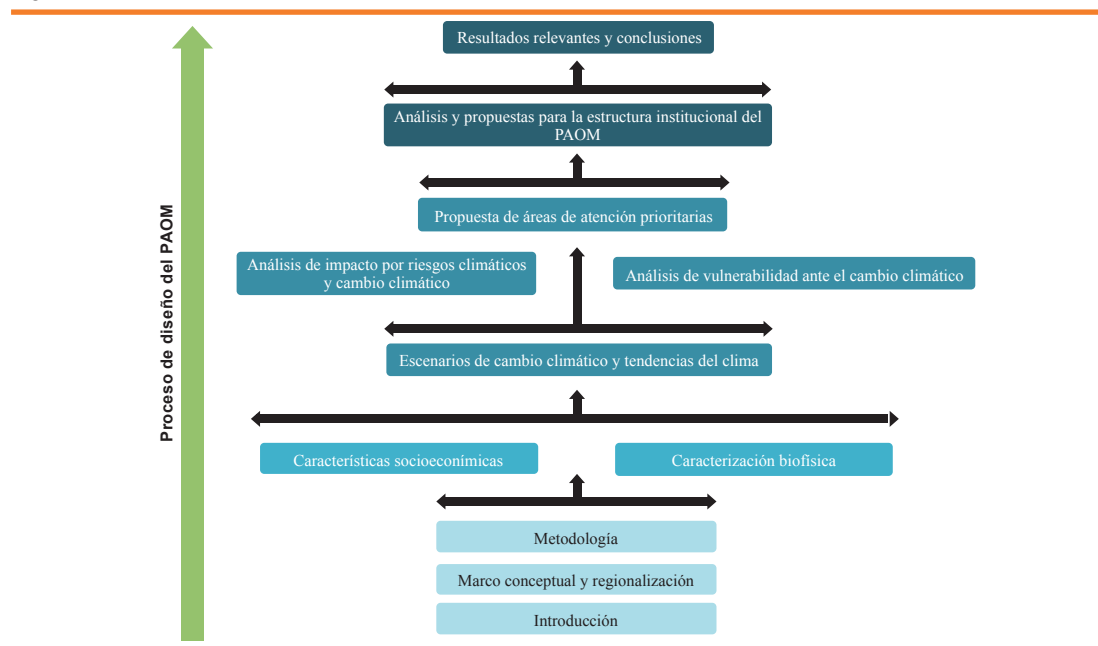


Además, también ha coincidido con el inicio de las administraciones de los gobiernos estatales de Chiapas y Tabasco. En los planes de desarrollo de ambas entidades se han integrado elementos clave que están alineados con los objetivos y visión del PAOM. Por un lado, el Plan Estatal de Desarrollo de Chiapas 2013-2018, establece el objetivo de promover el manejo sustentable de los recursos hídricos superficiales y subterráneos que propicien la disminución de afectaciones por inundaciones; esto incluye impulsar la coordinación con la federación y los gobiernos de Tabasco y Guatemala para llevar a cabo estrategias y acciones conjuntas para un manejo eficiente y sustentable de los ríos Grijalva y Usumacinta (Gobierno del estado de Chiapas, 2013). Por otra parte, el Plan Estatal de Desarrollo de Tabasco 2013-2018 tiene el objetivo de aprovechar el recurso hídrico con que cuenta la región Grijalva-Usumacinta; además, resalta la importancia de establecer convenios bajo un acuerdo marco con el Gobierno Federal y el del estado de Chiapas, dentro del cual se definan estrategias y líneas de acción conjuntas para un manejo eficiente y sustentable del agua en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta (Gobierno del estado de Tabasco, 2013). De esta manera, ambos planes de desarrollo abordan el tema del cambio climático y la adaptación como temas centrales para el desarrollo estatal. Por lo tanto, el PAOM puede contribuir con estos esfuerzos regionales al avanzar en la incorporación de una clara visión de adaptación al cambio climático y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes en la región.

1.4 Contenido del documento

El documento se constituye de 11 capítulos principales, incluyendo el presente. El capítulo 2 define los conceptos más importantes, muestra el enfoque y sistemas principales de análisis, e incluye la propuesta de regionalización tomada en cuenta para el análisis de la problemática del cambio climático y su atención. El capítulo 3 presenta los elementos más relevantes sobre la metodología utilizada y el proceso que se ha llevado a cabo durante el estudio. El capítulo 4 explica la dinámica socioeconómica y los datos estructurales de cada agrupamiento municipal establecido, con base en la regionalización propuesta. El capítulo 5 presenta los aspectos a considerar del contexto biofísico del espacio geográfico de estudio. El capítulo 6 describe y analiza las tendencias climáticas recientes, así como los nuevos escenarios de cambio climático y los utilizados en el Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El capítulo 7 muestra el análisis de impactos en la hidrología superficial de la cuenca y los impactos económicos y sociales clave. El capítulo 8 establece las interrelaciones entre factores y procesos de naturaleza biofísica y socioeconómica para identificar municipios, población, infraestructura estratégica y ecosistemas con alta vulnerabilidad ante el cambio climático. El capítulo 9 presenta áreas con agrupaciones de municipios que son identificados como de atención prioritaria para el PAOM. El capítulo 10 revisa conceptos normativos y programáticos relevantes para la implementación del PAOM, y extiende recomendaciones para la institucionalidad y gobernabilidad del mismo. Finalmente, el capítulo 11 resume los resultados más importantes del estudio y concluye con las reflexiones finales.

Figura 1.2. Proceso para el diseño del PAOM.



The background of the slide features a series of overlapping, light-colored geometric shapes, primarily rectangles and triangles, some with rounded corners. These shapes are arranged in a way that creates a sense of depth and movement, with some lines intersecting to form smaller, more complex shapes. The overall effect is a modern, minimalist design.

2

**Marco
conceptual y
regionalización**

2. MARCO CONCEPTUAL Y REGIONALIZACIÓN

El estudio para el diseño del Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM) tiene como marco conceptual la planeación de la adaptación al cambio climático con un enfoque regional, partiendo del aprovechamiento territorial sostenible en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Además, incorpora algunos de los principales elementos conceptuales desarrollados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), particularmente aquellos enfocados en mejorar la comprensión sobre los riesgos relacionados con dicho fenómeno y los eventos climáticos extremos. Este capítulo explica los principales conceptos, el enfoque y los sistemas y niveles de análisis que sustentan el diagnóstico del PAOM, así como la regionalización propuesta para el estudio.

2.1 Principales conceptos

El estudio parte de las definiciones dadas por el artículo 3 de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), en la cual se define la adaptación, la resiliencia y la vulnerabilidad de la siguiente manera:

Adaptación: Medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

Resiliencia: Capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático.

Vulnerabilidad. Nivel al que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

En el documento “Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisión” (INECC, 2012), se presentan tres ideas fundamentales para este estudio:

1. La adaptación no se relaciona exclusivamente con el cambio climático, sino también con otros procesos que interactúan con este fenómeno.
2. Su efectividad no está implícita en el proceso, por lo que se debe evitar la mala adaptación¹ y procurar enfocar los esfuerzos en la planeación.

¹ Mala adaptación: Cualquier cambio en sistemas humanos o naturales que aumentan de forma inadvertida la vulnerabilidad a estímulos climáticos; adaptación que no consigue reducir la vulnerabilidad, sino que la aumenta (IPCC, 2001; INECC, 2012).

3. Se debe abordar desde la perspectiva de los sistemas socio-ecológicos.

Fuente: Moser y Ekstrom, 2010; INECC, 2012.

De igual forma, este estudio considera el marco conceptual desarrollado por el IPCC (2012) para entender los riesgos frente al cambio climático, lo cual también fue incorporado en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). Este marco conceptual resalta que la gravedad de los impactos causados por fenómenos climáticos extremos no depende únicamente de dichos fenómenos, sino también de la exposición² y vulnerabilidad a los mismos. De acuerdo con este supuesto, si no existe exposición al cambio climático, no existe riesgo de consecuencias ante dicho fenómeno. Sin embargo, la exposición no es un factor suficiente para determinar el riesgo, ya que, por ejemplo, algunas comunidades expuestas podrían contar con suficientes recursos para mitigar o compensar las pérdidas generadas por un evento catastrófico.

Por otro lado, la exposición sí es un factor necesario para determinar que existe vulnerabilidad frente al cambio climático, y se explica por la ubicación geográfica de las personas o recursos que podrían sufrir afectación. Es por ello que este diagnóstico se enfoca en el aprovechamiento territorial sostenible y en la identificación de áreas geográficas de atención prioritaria para la adaptación al cambio climático, zonas que, debido a su alta exposición a eventos climáticos de alto riesgo o a su contexto socioeconómico, son de alta vulnerabilidad social frente a los riesgos climáticos.

La vulnerabilidad se determina, en gran medida, por factores contextuales de las poblaciones o de los recursos expuestos. Algunos factores que incrementan la vulnerabilidad social son: la falta de acceso a servicios básicos y recursos económicos; la carencia de información y tecnología; la pobreza y la ausencia de mecanismos de apoyo o redes sociales (Cutter *et al.*, 2003). Otros factores que incrementan la vulnerabilidad, aunque responden en mayor medida al contexto de cada comunidad, son: la degradación ambiental, la segregación socio-espacial y la subsistencia basada en actividades primarias altamente sensibles al clima, entre otros.

Este estudio aborda la complejidad de la vulnerabilidad mediante el análisis de los sistemas social, económico y biofísico expuestos a posibles efectos negativos del cambio climático, lo cual se describirá más adelante. Asimismo, está basado en los marcos conceptuales que recientemente se han desarrollado sobre el “crecimiento verde” e incluyente; si bien existen diversas definiciones para ese concepto, todas señalan que debe basarse en un desarrollo económico que promueva mayor equidad y que, al mismo tiempo, asegure la continua provisión de servicios ecosistémicos

² Exposición. La presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente.

para satisfacer necesidades actuales y fortalecer la resiliencia ante riesgos y cambios climáticos. Estas definiciones también enfatizan que el crecimiento verde representa una serie de acciones concretas que deben realizarse a corto y mediano plazo para facilitar la meta del desarrollo sustentable en el largo plazo (PNUMA, 2011; OECD, 2011; *The World Bank*, 2012).

El crecimiento verde debe destacarse por ser: 1) eficiente en el uso de los recursos naturales; 2) limpio, disminuyendo la contaminación y reduciendo los impactos ambientales; y 3) resiliente, tomando en consideración los riesgos naturales (*The World Bank*, 2012). Asimismo, se enfatiza que debe ser incluyente, particularmente al responder a las necesidades de los sectores de población en condiciones de pobreza y de los grupos vulnerables (PNUMA, 2011).

En el contexto del PAOM, el vínculo de la adaptación al cambio climático y el crecimiento verde, se da tanto en el diagnóstico como en las propuestas de intervención. En el diagnóstico aquí presentado, se incluye la descripción de factores que, además de incrementar la vulnerabilidad al cambio climático, impiden que los habitantes de la región escapen de las “trampas de pobreza” en las que se encuentran y que alcancen mayores niveles de bienestar. Al mismo tiempo, el diagnóstico evalúa el uso que se le ha dado a los recursos naturales de la región y como éstos han contribuido a un crecimiento en la zona que dista mucho de ser eficiente, limpio, resiliente e incluyente. En las siguientes etapas de este proyecto, se asegurará que las intervenciones propuestas estén simultáneamente alineadas con los objetivos de adaptación al cambio climático y del crecimiento verde.

2.2 Enfoque y sistemas de análisis

El estudio del diseño del PAOM tiene un enfoque territorial centrado en la cuenca (Figura 2.1). Para la cuenca Grijalva-Usumacinta, localizada esencialmente en territorio mexicano en los estados de Chiapas y Tabasco, implica un análisis a nivel regional con el que se busca entender la problemática que el cambio climático presenta, y proveer opciones de adaptación bajo un esquema de colaboración y coordinación multinivel (federal, estatal y municipal). Este enfoque se ha desarrollado en concordancia con la ENCC, la cual tiene como una de sus líneas de acción:

Impulsar la gestión territorial integral para la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático de ecosistemas, considerando el manejo y aprovechamiento sustentable, la protección, la conservación y la restauración; con énfasis en regiones prioritarias y cuencas hidrográficas (CICC-SEMARNAT-INECC, 2013: Línea de acción A3.1).

Figura 2.1. Enfoque territorial de cuenca.



Uno de los principales retos que enfrenta el desarrollo e instrumentación del PAOM, es la poca experiencia de una planeación de adaptación a nivel regional (entre estados), sobre todo, con enfoque territorial de cuenca. Sin embargo, la adopción de un enfoque regional responde a uno de los pilares de la política nacional de cambio climático que busca contar con políticas y acciones climáticas transversales, articuladas, coordinadas, e incluyentes (CICC-SEMARNAT-INECC, 2013). Además, el enfoque del PAOM y las experiencias que surjan de este proceso pueden ser replicadas para otras zonas que, al igual que esta región, enfrenten un alto riesgo ante los efectos del cambio climático. Es importante señalar que el estudio para el diseño del PAOM únicamente se centra en la parte de la cuenca ubicada en territorio mexicano; sin embargo, para entender y analizar su dinámica ha sido necesario incorporar elementos que corresponden a la parte guatemalteca. Asimismo, se reconoce la necesidad y la importancia de lograr acuerdos bilaterales de cooperación transfronteriza para atender la problemática del cambio climático en la cuenca.

Sistemas

El estudio centra su análisis en tres sistemas: social, económico y biofísico. El social es analizado debido a que la alta marginación en la región se encuentra estrechamente relacionada con la vulnerabilidad social y de capacidades de los grupos humanos de la zona. Este documento muestra información e indicadores sobre este contexto, presenta distintos índices de vulnerabilidad social para la región y analiza la vulnerabilidad social con relación a riesgos climáticos (capítulos 4, 7 y 8).

Por otro lado, al estudiar el sistema económico vinculado a la cuenca, el diagnóstico se enfoca en aquellos sectores que son sensibles a los eventos climáticos extremos y al cambio climático, particularmente, los sectores energético (producción hidroeléctrica, infraestructura y producción petrolera), agrícola y ganadero. Asimismo, este documento incorpora los eventos climáticos extremos recientes; su análisis muestra los altos costos que generan, provocando la interrupción de la producción de bienes y servicios, la destrucción de infraestructura urbana y, como consecuencia, la inversión de recursos valiosos para reconstrucción, los cuales hubieran podido dedicarse a otros fines socialmente deseables (Capítulos 4, 7 y 8).

Finalmente, el sistema biofísico se analiza considerando, de manera particular, el sistema hidrológico de la cuenca, la diversidad de ecosistemas que lo soportan y los servicios ambientales que provee, así como su afectación y resiliencia ante el cambio climático (Capítulos 5, 7 y 8). Al discutir las condiciones del sistema biofísico, este estudio muestra que la funcionalidad ecológica e hidrológica es un factor fundamental para incrementar la resiliencia de las comunidades humanas y la biodiversidad (INECC, 2012).

2.3 Regionalización

Convenir el concepto de regionalización es sumamente importante para avanzar en la definición de las unidades de gestión del territorio y manejo adecuado de los recursos naturales. Sin embargo, tan solo en el sector ambiental, cada dependencia gubernamental presenta una regionalización diferente, ya sea hidrológica, hidrológica-administrativa, hidrológica-forestal o ecológica. Lo anterior, evidentemente, dificulta el consenso para la elección de una unidad territorial única, tanto para la aplicación de políticas públicas, como para el diseño e implementación del PAOM. Lograr consenso en la regionalización propuesta es un factor de suma importancia para identificar acciones a nivel local y priorizar las acciones en el territorio, lo cual, además, puede contribuir en el diseño de la institucionalidad y gobernabilidad del PAOM.

El tipo de espacio geográfico que se utilizó para el análisis es el de unidad hidrográfica, puesto que el PAOM busca construir un plan de adaptación para el manejo hídrico integral de la cuenca. Para ello, se establecieron las cuencas primarias que conforman el sistema hídrico en una escala de poco detalle, por lo que algunas cuencas endorreicas menores se incorporaron a alguna cuenca contigua y, al momento de analizar detalladamente cada una de ellas, se tomó en cuenta su característica en particular. Asimismo, para el análisis socioeconómico se agruparon los municipios ubicados en cada cuenca del territorio mexicano, con lo cual se establecieron seis unidades conformadas por grupos de municipios correspondientes a las unidades hidrográficas.

En una primera visión de la región aparecen las cuencas del Pacífico en Chiapas, así como la zona del Soconusco, que si bien no es parte de la cuenca del Alto Grijalva, sí está vinculada con ésta, ya que comparten parteaguas, fenómenos hidrometeorológicos y pertenecen al estado de Chiapas. En la parte baja oeste del Grijalva, particularmente en la zona de las llanuras costeras de Tabasco, no hay una clara solución de continuidad entre el delta del Grijalva y el del río Tonalá, razón por la cual se incorpora al área de estudio. El desagüe de los ríos al Golfo de México forma, en su parte sur, una gran planicie con deltas. La dinámica hídrica del enfoque de cuenca no puede delimitarse claramente y se forman sistemas lagunares y de humedales, por lo que resulta conveniente distinguir la parte alta y baja de las dos grandes cuencas (Grijalva y Usumacinta), a las cuales tributan todas las demás.

Con esta perspectiva, y tomando en cuenta un modelo de cuencas³, se agrupan los municipios contenidos en cada cuenca. Para determinar si un municipio está comprometido con una u otra cuenca, se consideraron los siguientes criterios: 1) la cantidad de población y el número de localidades por cuenca; 2) la proporción de superficie incluida; 3) la presencia de características geográficas importantes para el sistema hidrológico; y 4) consideraciones geopolíticas.

Como resultado de lo anterior, se formaron seis grupos de municipios, de los cuales, cada uno corresponde a unidades hidrográficas y es utilizado para diferenciar a nivel espacial y político-administrativo (nivel municipal), el análisis socioeconómico, la descripción de tendencias climáticas, escenarios de cambio climático, descripción de impactos y vulnerabilidad, y para identificar áreas prioritarias de atención. Así, los agrupamientos municipales por unidades hidrológicas son (Mapa 2.1):

1. Alto Grijalva (municipios de Chiapas).
2. Bajo Grijalva (municipios de Tabasco).
3. Bajo Usumacinta (municipios de Tabasco).
4. Lacantún–Chixoy (municipios de Chiapas).
5. Ríos de la Sierra (municipios de Chiapas y Tabasco).
6. Tulijáh (municipios de Chiapas y Tabasco).

En el caso del grupo Lacantún–Chixoy, además de la cuenca endorreica de Comitán (Río Grande–Lagunas de Montebello), se incluyen pequeñas porciones del territorio de

³ El modelo de cuenca considera: 1) Alto Grijalva (antes cuenca de los ríos Chiapa y Mezcalapa, una pequeña parte en Guatemala); 2) Ríos de la Sierra; 3) Tulijáh o Chilapa; 4) Chixoy o Salinas (la gran mayoría en Guatemala); 5) De la Pasión (totalmente en Guatemala); 6) San Pedro (mayor parte en Guatemala); 7) Gran Usumacinta (compartida con Guatemala).

Cuadro 2.1. Características de las unidades hidrológicas.

Subregiones	Características geográficas y municipales
Alto Grijalva	Geografía: Contempla la cuenca de los ríos Chiapa y Mezcalapa, así como una pequeña parte ubicada en Guatemala. La presa Peñitas funge como el punto de salida, la cual tiene una atención particular debido al papel que ha jugado en el análisis de los problemas de inundación en la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Chiapas concentra los principales centros urbanos, por lo que mayoritariamente la población es urbana. En la zona se encuentran los principales complejos hidroeléctricos. Agrupación municipios de Chiapas.
Bajo Grijalva	Geografía: La porción baja abarca ciudades importantes como Huimanguillo, Cárdenas, Comalcalco, Paraíso y Villahermosa, en el estado de Tabasco. Tiene un importante desarrollo urbano e industrial debido a la presencia de pozos petroleros. Agrupación municipios de Tabasco.
Bajo Usumacinta	Geografía: Corresponde a la subcuenca que se forma con la parte baja de la cuenca del río Usumacinta, a partir de la confluencia de los ríos Lacantún y Chixoy, hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de México, en Tabasco, y en la Laguna de Términos, en Campeche. El grado de marginación es alto y la mayor parte de la población es rural. Agrupación municipios de Tabasco.
Lacantún-Chixoy	Geografía: Corresponde a la subcuenca del río Lacantún, e incluye la pequeña subcuenca del río Chixoy, proveniente de Guatemala, desde su ingreso a territorio chiapaneco, hasta la confluencia con el río Lacantún. En la zona se localizan seis Áreas Naturales Protegidas (ANPs). Agrupación municipios de Chiapas.
Ríos de la Sierra	Geografía: Tiene origen en la Sierra Madre de Chiapas y recorre Tabasco de sur a norte. Geográficamente coincide con la Sierra, la zona más montañosa y lluviosa de la región, donde existen escurrimientos que descienden de las montañas y desembocan en la planicie tabasqueña a lo largo de corrientes fluviales en torno a Villahermosa. El aumento en el caudal de estos escurrimientos es el factor causante de las inundaciones de los últimos años (Rodríguez <i>et al.</i>, 2012). Agrupación municipios de Chiapas y Tabasco.
Tulijáh	Geografía: Nace en las montañas chiapanecas de la Sierra Norte, desciende hasta la localidad de Salto de Agua, en Chiapas, y se introduce sobre el municipio de Macuspana, en Tabasco, donde recibe las aportaciones de los ríos Puxcatán, Chilapa y Chilapilla, descargando finalmente sus aguas sobre el río Grijalva en un sistema lagunar. Presenta gran actividad agrícola, ganadera, forestal y turística, las cuales han contribuido al aumento de la población humana y a la fragmentación de los ecosistemas (Arriaga <i>et al.</i>, 2000). Agrupación municipios de Chiapas y Tabasco.

Es importante destacar que este estudio centra su análisis a nivel municipal. Lo anterior se justifica en tanto que la vulnerabilidad tiene expresiones y dinámicas locales, y debido a que para llevar a cabo una planeación de la adaptación, es indispensable entender el contexto local (INECC, 2012). En México, la información local, con frecuencia, se encuentra procesada para el ámbito municipal, ya que ésta es la unidad político-administrativa relacionada con este nivel. Además, el municipio tiene atribuciones para la planeación de la adaptación, como la gestión y ordenamiento territorial rural y urbano. Por tal motivo, la meta del presente estudio consiste en apoyar la selección de municipios que, por sus características y ubicación, se consideren localidades críticas para el diseño e implementación del PAOM.



3

Metodología

3. METODOLOGÍA

El estudio utiliza e integra múltiples métodos para entender los problemas derivados del cambio climático que se presentan en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, así como para identificar las áreas de atención prioritaria. En este capítulo se expone, de manera general, el marco metodológico y el proceso que se ha llevado a cabo para la elaboración del estudio. Sin embargo, cada capítulo y/o anexo técnico describe con mayor detalle los métodos particulares y los modelos utilizados para entender las diferentes variables que se relacionan con amenazas, exposición, vulnerabilidad, resiliencia y capacidad adaptativa frente a riesgos climáticos de los sistemas analizados en este estudio.

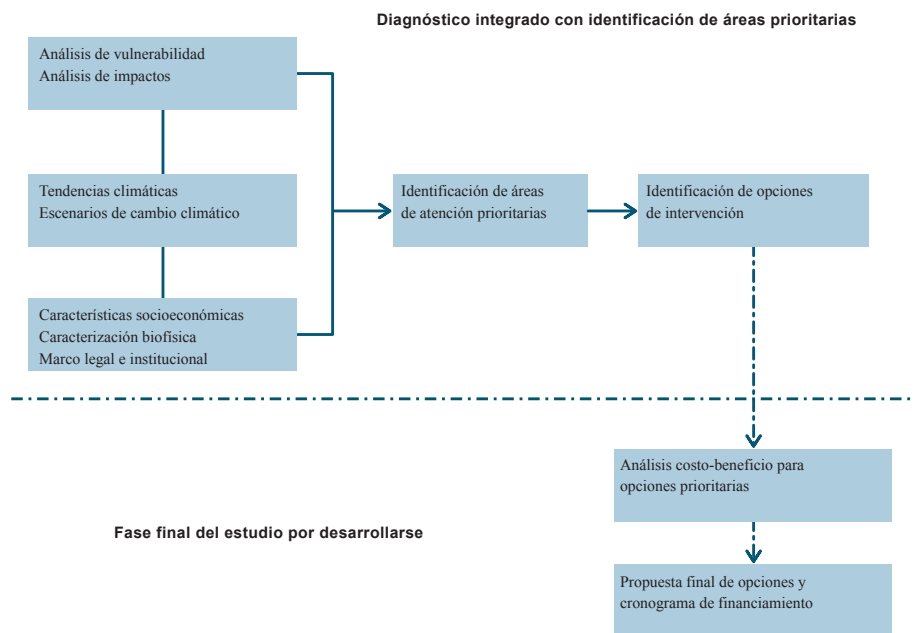
Los antecedentes de la metodología se derivan de los términos de referencia desarrollados por la División de Cambio Climático y Sostenibilidad (INE/CCS) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para el proyecto “Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral de las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta. Programa de adaptación a las consecuencias del cambio climático en la provisión de servicios de la cuenca del Grijalva” y del “Formulario TEC-4. Descripción de la metodología y el plan de actividades para la ejecución del trabajo”, presentado por *Abt Associates Inc.*, como base de la propuesta técnica para la adjudicación del proyecto. Cabe destacar que, durante el desarrollo del estudio, se han identificado vacíos de información, lo cual ha servido para ajustar métodos y para definir el alcance del trabajo. El estudio busca documentar aquellos vacíos relevantes de información y resaltar aquellos estudios complementarios que pueden ser de interés para la futura implementación del Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM) para la cuenca del Grijalva-Usumacinta.

Un elemento importante de este trabajo es la formación de un equipo interdisciplinario de investigación conformado por expertos de diversos campos de estudio, como la economía, las políticas públicas, la geografía, la ingeniería, los sistemas de información geográfica, la estadística y la hidrología, por mencionar los más relevantes. La integración del equipo busca analizar con un enfoque coherente los diversos factores asociados con la exposición y la vulnerabilidad frente a las consecuencias del cambio climático.

En este sentido, el continuo diálogo e intercambio de ideas entre los investigadores ha sido un elemento central en el marco metodológico. Para esto, se realizaron continuamente talleres internos que tuvieron los siguientes objetivos: 1) intercambiar información e ideas; 2) revisar productos; y 3) desarrollar productos con requerimiento de una visión interdisciplinaria, como la selección de áreas de atención prioritaria.

La Figura 3.1 muestra cómo el marco metodológico se sustenta en un análisis interdisciplinario para el desarrollo del estudio.

Figura 3.1. Marco metodológico.



La base de los estudios de contexto sobre características socioeconómicas, biofísicas y el marco legal e institucional, parte del análisis de información y literatura secundaria, ya que, desde una etapa temprana del estudio, se identificó la vasta información existente sobre la región. Asimismo, los tiempos del estudio limitan la generación de información en campo. Sin embargo, en muchos casos, este trabajo presenta por primera vez los resultados de dichos estudios desde la perspectiva de la adaptación al cambio climático.

Un aspecto fundamental para la elaboración de estos estudios fue el liderazgo del Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo”, A.C. (CENTROGEO) en el desarrollo de los mismos, ya que los investigadores incorporados en el equipo de esta institución llevan varios años trabajando en la región. Dicha institución participó en el proyecto “Desarrollo de redes para la gestión territorial del Corredor Biológico Mesoamericano-México”, llevado a cabo a través del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECyT) 2010-2012. En dicho proyecto se realizaron cerca de una decena de investigaciones y se fortalecieron las relaciones con entidades académicas, gubernamentales, de productores y de la sociedad civil de la región, todas ellas consolidadas y fuertemente vinculadas a redes regionales de investigación⁴.

⁴ Consultar resultados en: <http://www.geowebrum.org>

Asimismo, el desarrollo del trabajo en cada grupo de investigación y las conversaciones realizadas entre todos los miembros del equipo a lo largo del mismo, proporcionaron elementos clave que se consideraron para asegurar que el trabajo cumpliera con las mejores prácticas en materia de adaptación al cambio climático. Por ejemplo, es fundamental comprender que el primer paso para responder a los riesgos asociados con el cambio climático, es atender el déficit de adaptación; en otras palabras, disminuir la vulnerabilidad en las condiciones existentes (Brooks *et al.*, 2011). Igualmente, es imprescindible minimizar los riesgos de la “mala adaptación”, es decir, evitar proponer intervenciones adaptativas que no consideran el hecho de que, continuar haciendo las cosas como se han hecho anteriormente, puede resultar contraproducente, e incluso aumentar la vulnerabilidad (IPCC, 2001; OCDE, 2009; INECC, 2012). Las anteriores son dos líneas básicas que se consideran a lo largo del estudio. Además, para la región Grijalva-Usumacinta, existen dos factores que se relacionan de manera estrecha con los riesgos de los efectos del cambio climático. Por un lado, la exposición y vulnerabilidad a eventos climáticos extremos que ocurren con mucha frecuencia, los cuales tienen importantes consecuencias sociales y económicas; y, por otro lado, la vulnerabilidad social, que parte de los altos niveles de pobreza y marginación en la región. El primero es más evidente en Tabasco, mientras que el segundo, en Chiapas. No obstante, ambos factores se manifiestan a lo largo de la región.

El estudio sobre las características socioeconómicas se basa en el análisis de información secundaria y en las observaciones realizadas en campo en los últimos años. Además, el estudio se benefició de la activa participación de las autoridades estatales del sector ambiental, así como de los responsables de la elaboración de los ordenamientos ecológicos de la región, los planes estatales de acción frente al cambio climático y las estrategias para la biodiversidad.

Con dicho bagaje, se procedió a obtener información específica de cada municipio. En este sentido, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), fueron las fuentes principales de donde se obtuvieron datos demográficos y de producción primaria. Esta información se complementó con datos sobre la presencia de Petróleos Mexicanos (PEMEX) en Tabasco, así como de la producción hidroeléctrica en Chiapas. Además, el equipo de estudio estableció agrupamientos municipales en función de las principales cuencas, para relacionar la actividad humana con el estado de esas zonas. Con estos análisis se pretendió proporcionar un contexto y un panorama de aspectos destacados que incrementan la vulnerabilidad social frente a los riesgos climáticos en cada agrupamiento de municipios.

La caracterización biofísica complementa el contexto y se vincula con los aspectos relacionados a la información hidrológica. El estudio se basa en el trabajo que, como se mencionó anteriormente, realiza CENTROGEO en la zona desde el año de 2007,

institución que, en colaboración con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), busca conocer y entender las dinámicas que afectan al capital natural.

El estudio sobre el marco legal e institucional incluyó consultar leyes, planes, programas y reglamentos federales y estatales, así como literatura secundaria. Además, se realizaron entrevistas a personas involucradas en procesos institucionales federales y estatales de la región. El análisis partió de los preceptos legales relacionados con la adaptación al cambio climático y, por lo tanto, se enmarcó en la Ley General de Cambio Climático (LGCC), lo cual llevó a la revisión de las disposiciones supletorias de ésta. Al plantear esta ley como una intersectorialidad en materia de adaptación, se tuvieron que analizar preceptos legales y programas relacionados no sólo con el sector ambiental, sino también con varios otros sectores de la administración pública, a fin de identificar requisitos en materia de adaptación, riesgos y vulnerabilidad, así como áreas de oportunidad para impulsar acciones en materia de adaptación. Finalmente, se estudiaron las normas estatales y las condiciones legales e institucionales en cada estado para implementar el PAOM. Considerando la gran cantidad de información recabada, se decidió elaborar textos generales y conservar el grueso del contenido en los anexos, los cuales contienen información importante que puede ser útil para quienes consulten el presente documento.

Un elemento a destacar en la metodología del estudio es que se utilizaron los datos más recientes sobre escenarios de cambio climático que existen actualmente en México. Estos datos fueron compartidos por la Red Mexicana de Modelación del Clima, misma que coordina el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), y con la que colaboran el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (CCA-UNAM). Dichos datos son el resultado de las proyecciones de 15 modelos de circulación global (MCG) que, para el caso de México, se combinaron en un ensamble ponderado mediante el método REA (*Reliability Ensemble Averaging*), calculando la incertidumbre de cada modelo. Esto se hizo para el periodo histórico (1961-2000 = 40 años), futuro cercano (2015-2039 = 25 años) y futuro lejano (2075-2099 = 25 años). Para el caso de las proyecciones a futuro, se utilizaron los escenarios de forzamiento radiativo bajo (RCP 4.5), medio (RCP 6) y alto (RCP 8.5) (INECC, 2013). Asimismo, los datos se procesaron cuando fue necesario generar una expresión a nivel municipal para el análisis de impactos, lo cual se realizó, por ejemplo, en la producción de maíz y café. De igual forma, se realizaron análisis estadísticos y ejercicios de modelación hidrológica para estimar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico, la ocurrencia de eventos climáticos extremos y la generación de energía hidroeléctrica (Capítulo 7).

3.1 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Para el estudio se ha desarrollado un SIG, lo cual tiene como objetivos: 1) apoyar y facilitar el diagnóstico y el análisis, y 2) apoyar y facilitar la toma de decisiones para el desarrollo de las actividades que se establezcan en la etapa de implementación del PAOM.

El SIG organiza la información en dos escalas de trabajo. La primera, denominada información de contexto, incluye información cartográfica para los temas hidrológico, económico, social e institucional en los estados de Chiapas y Tabasco, además de información concerniente a Guatemala. Dicha información cuenta con capas con una escala promedio de 1:1,000,000. La segunda escala se denomina “información del área de trabajo para el diagnóstico integrado”, la cual articula información sobre las características biofísicas, socioeconómicas, estudios socio-ambientales y análisis del marco legal e institucional. La escala de esta información es de entre 1:250,000 y hasta 1:10,000 para algunos temas particulares.

Para la selección de las capas digitales que integran el SIG, se consideraron criterios como la relevancia y la utilidad para el estudio, la temporalidad, la presencia de metadatos, la duplicidad de la información, su cobertura espacial y una escala cartográfica mínima de 1:1,000,000 para la información de contexto, y de 1:250,000 para el área de trabajo. Todas las capas incluidas en el SIG están en la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) usando los siguientes parámetros (ver anexo del capítulo para contenido de capas):

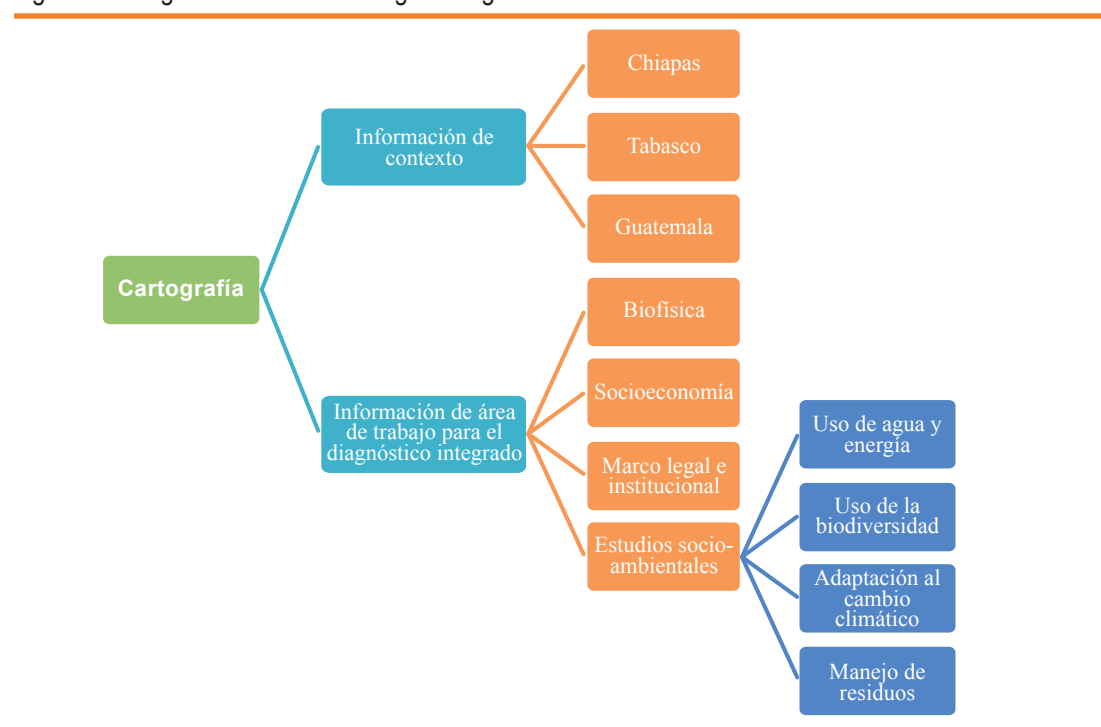
Projection: Transverse_Mercator
False_Easting: 500000.000000
False_Northing: 0.000000
Central_Meridian: -93.000000
Scale_Factor: 0.999600
Latitude_Of_Origin: 0.000000
Linear Unit: Meter (1.000000)
Geographic Coordinate System: GCS_WGS_1984
Angular Unit: Degree (0.017453292519943299)
Prime Meridian: Greenwich (0.000000000000000000)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.000000000000000000
Semiminor Axis: 6356752.314245179300000000
Inverse Flattening: 298.257223563000030000

Para el caso de las capas de la información de contexto que están fuera del rango de 96W-90W de la zona 15 UTM, la información puede proporcionarse en coordenadas geográficas.

La información recopilada y organizada en capas digitales en formatos “shape y “grid” de ESRI® e imágenes de satélite en composiciones de falso color (RGB) con formato “img” de Erdas IMAGINE®, se ha incorporado al SIG desde *ArcMap* para optimizar la generación, almacenamiento, análisis y distribución de los datos, facilitando con ello la conformación, disposición, consulta, análisis y explotación final por usuarios internos y externos.

La base de datos digital, compuesta por diferentes capas espaciales, está organizada como lo muestra la Figura 3.2.

Figura 3.2. Organización de la cartografía digital.



3.2 Mapa de actores

El mapa de actores resulta una herramienta fundamental para el diseño del PAOM, ya que aporta información sobre los esfuerzos existentes, los recursos disponibles y la capacidad de generar diálogo e intervenciones para la adaptación al cambio climático.

El mapa se centra en tres niveles principales: federal, estatal y municipal. Sin embargo, existen instancias internacionales, interestatales, intermunicipales, así como núcleos agrarios o de pequeña propiedad que complementan el mapa. En cada caso se pueden ubicar empresas o instituciones correspondientes a dichas escalas. La Figura 3.3 muestra una representación de los actores principales para la implementación del PAOM.

A nivel federal, el actor más relevante es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con intervenciones en las otras escalas a través de los organismos de cuenca y las gerencias estatales. Otros actores relevantes son la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el INECC, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con sus correspondientes expresiones interestatales y estatales. A estos actores se debe agregar PEMEX por la gran importancia que tiene principalmente en Tabasco, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por su responsabilidad en el sistema de presas en el Alto Grijalva, así como la Secretaría de Energía (SE), la cual encabeza el sector al que ambas organizaciones pertenecen.

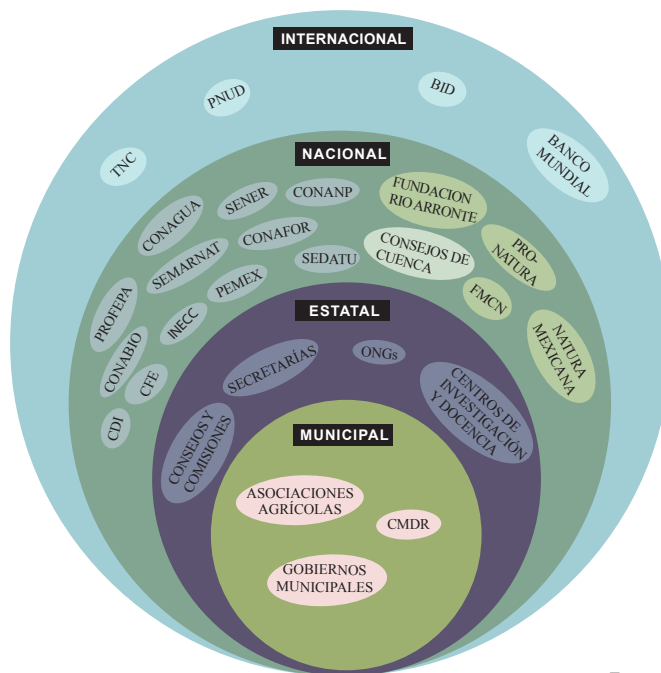
Las fuerzas motrices principales en la región son: PEMEX, CFE y CONAGUA, las cuales tienen una presencia física, social y política muy alta, y realizan grandes inversiones con altos impactos sociales, económicos y ambientales. La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la CONABIO juegan un papel fundamental en la gestión territorial de la región, aunque con un enfoque geográfico que se concentra en las áreas naturales protegidas de jurisdicción federal y en los corredores biológicos entre éstas, respectivamente. Los gobiernos de los estados de Tabasco y Chiapas juegan un rol vinculante importante entre los grandes intereses nacionales y locales, aunque con recursos menores que los de actores federales.

Existen, además, diversos tipos de organizaciones que aglutinan a los pobladores y otros actores clave de la región. Éstos incluyen núcleos agrarios, organizaciones de productores, asalariados de empresas o instituciones locales, nacionales o internacionales, organizaciones de la sociedad civil e instituciones académicas, entre otros. Según el sitio de análisis, dichas organizaciones muestran una gran diversidad. Por ejemplo, en la región hay zonas con un alto componente religioso y sectario, mientras que, en otras, hay asentamientos alrededor de industrias petroleras (PEMEX), azucareras o mineras. De igual forma, existen grupos que representan un amplio espectro político. La presencia e influencia de estos grupos varía notablemente a lo largo del territorio, por lo que es necesario realizar un mapa local de actores de las áreas prioritarias de intervención. Un mapa como el que se sugiere es un elemento clave para evaluar la factibilidad de las intervenciones, ya que estos actores ocupan el espacio geográfico específico en el que se manifestarán los efectos de cualquier intervención para la adaptación al cambio

climático, o bien, los efectos de la falta de la incorporación de las variables climáticas en los procesos de desarrollo.

El municipio es el orden de gobierno más cercano a los diversos agentes sociales y privados; por tal motivo, al tener jurisdicción sobre todo su territorio, es un actor fundamental para mejorar las intervenciones territoriales, sobre todo, del ordenamiento. El municipio tiene como responsabilidad establecer el ordenamiento territorial, el ordenamiento ecológico y el plan de desarrollo urbano, por lo tanto, debe elaborar un plan de desarrollo municipal y emitir los reglamentos o bandos para el funcionamiento del mismo. De esta forma, el municipio es el que define el uso del suelo en su territorio, lo cual se relaciona directamente con la exposición y con la vulnerabilidad a los posibles eventos climáticos extremos.

Figura 3.3. Mapa de actores.



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Entrevistas con actores clave

Para el desarrollo del estudio fue fundamental la orientación que recibimos de personas (actores individuales) que conocen la región y la política pública, lo cual complementó el conocimiento directo de la región que tienen los miembros del equipo de trabajo. Para esto, se realizaron entrevistas, charlas y reuniones con los siguientes actores: Julia

Carabias, ex secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), quien ha trabajado en la cuenca del Lacantún (selva Lacandona) desde hace varios años; Enrique Provencio, ex-subsecretario de Planeación de la SEMARNAP, quien ha realizado estudios en la zona; Sergio Graf, Coordinador General de Producción y Productividad de la CONAFOR; Salvador Anta, quien ha trabajado con comunidades forestales de la región, ha sido funcionario de la CONAFOR y actualmente es Director Técnico de Corredores Biológicos de la CONABIO; Ricardo Hernández Sánchez, Director de Cambio Climático y Economía Ambiental del Gobierno de Chiapas; Helena Cotler, Directora de Manejo de Cuencas Hídricas del INECC; Rafael Obregón, Coordinador Regional de los estados de Chiapas, Tabasco y Oaxaca; Xóchitl Ramírez, ex directora técnica de la Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos (CCRB) de la CONABIO, quien trabaja en Chiapas y Tabasco; así como investigadores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), principalmente.

3.4 Talleres

Desde su inicio, el estudio para la elaboración del diseño del PAOM se ha concebido como un proceso participativo en el que colaboraron más de 200 personas. El equipo del estudio tuvo múltiples reuniones de trabajo con actores gubernamentales a niveles federal y estatal, representantes del sector académico y organizaciones no gubernamentales en la región. Asimismo, se desarrollaron nueve talleres participativos, de los cuales tres han sido con autoridades del Gobierno Federal, tres con autoridades estatales de Chiapas y Tabasco, dos con académicos de dichos estados y uno con organizaciones no gubernamentales y agencias de desarrollo. Con estos talleres se ha buscado enriquecer los insumos del proyecto, y éstos han sido, al mismo tiempo, la base para algunos de los estudios que se presentan en el documento.

En los siguientes capítulos se muestran los resultados del estudio, para lo cual, primero, se presenta el contexto socioeconómico y biofísico. Posteriormente, se exponen las tendencias climáticas y los escenarios de cambio climático. El documento continúa con el análisis de impactos y vulnerabilidad y, finalmente, se identifican las áreas de intervención prioritarias.



Fotos: Taller con las autoridades estatales de Chiapas y Tabasco, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 17 de mayo de 2013.

The background of the slide features a series of overlapping, light-colored geometric shapes, primarily rectangles and triangles, some with rounded corners. These shapes are arranged in a way that creates a sense of depth and movement, with some lines intersecting to form smaller, more complex shapes. The overall effect is a modern, minimalist design.

4

Características socioeconómicas

4. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

El contexto socioeconómico de una población es fundamental para entender las condiciones de vulnerabilidad social ante el cambio climático. La comunidad científica ha identificado una serie de factores que pueden determinar las condiciones de vulnerabilidad social, entre las que se encuentran: la marginación social, la inequidad, la falta de acceso a información (fuentes de conocimiento), el nivel de acceso y calidad de la vivienda, y la seguridad alimentaria, entre otros (Cutter *et al.*, 2003; Brooks, 2003; Wisner *et al.*, 2004). Todos estos factores son relevantes para los estados de Chiapas y Tabasco, y son elementos esenciales a considerar en el Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral de la cuenca del Grijalva-Usumacinta (PAOM).

En este capítulo se presentan las características socioeconómicas, tanto a nivel estatal como municipal para Chiapas y Tabasco, considerando la agrupación de municipios y regionalización propuesta en el Capítulo 2. Además, se presenta la estructura poblacional y productiva que permite una caracterización socioeconómica de los agrupamientos municipales, a partir de la información disponible a este nivel.

La información y el análisis en este capítulo ayudan a contextualizar a nivel regional posibles condiciones de vulnerabilidad social ante el cambio climático de forma diferenciada en el territorio; por ejemplo, facilitan la identificación de las regiones donde la población es altamente dependiente de la agricultura de subsistencia, la cual es muy sensible al cambio climático; por otro lado, presenta datos sobre marginación social, elemento crítico para entender las capacidades de la población frente al cambio climático.

Los crecientes niveles de urbanización en el país hacen indispensable entender el funcionamiento del sistema de ciudades y sus características principales en la cuenca del Grijalva-Usumacinta. Es en las zonas urbanas, como Villahermosa, donde se concentra la mayor cantidad de habitantes en zonas de riesgo ante desastres climáticos en México (INECC, 2012).

4.1 Dos polos: Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez

En términos generales, el desarrollo económico está fuertemente ligado con el proceso de urbanización. De acuerdo con estudios a nivel mundial, las ciudades tienden a ser los motores de este desarrollo debido a las economías de aglomeración y a la mayor productividad que se generan en ellas. Por ello, la densidad económica de las ciudades, la distancia que separa a las poblaciones más pequeñas de los principales centros urbanos, y las divisiones que dificultan el acceso a mercados, son algunas de las dimensiones más relevantes para entender la geografía económica del desarrollo

(Banco Mundial, 2008). Estas dimensiones son también cruciales para entender los riesgos ante el cambio climático.

En el caso específico de la región Grijalva-Usumacinta, existen dos polos en los que se concentran la población, la actividad económica y la toma de decisiones. En este sentido, los flujos entre ciudades y la fuerza de atracción entre ellas es muy útil para entender la situación estructural de los municipios y, por tanto, de los agrupamientos municipales establecidos para el presente estudio. Estas relaciones explican las dinámicas espaciales de la región en mayor medida que los límites administrativo-políticos existentes.

En Tabasco hay una fuerte dependencia funcional del estado sobre la capital, la ciudad de Villahermosa, que tiene una gran dinámica económica por la fuerte presencia de Petróleos Mexicanos (PEMEX). La actividad petrolera en la región ha hecho también que el flujo de transportes entre Villahermosa y Coatzacoalcos sea uno de los más intensos del país; además, este punto es también el paso del México continental a la Península de Yucatán. Es por ello que la resiliencia de la infraestructura carretera de la zona frente a los riesgos climáticos es un elemento estratégico a considerar. El Mapa 4.1 muestra las principales ciudades de la región y resalta los principales flujos de transporte señalados.

En Tabasco, las cinco ciudades que tienen más de 30 mil habitantes son: Villahermosa (354,000), Cárdenas (92,000), Comalcalco (41,000), Tenosique y Macuspana (32,000 cada una); todas ellas situadas en una altitud de menos de 50 metros sobre el nivel del mar (msnm), lo que claramente expone el grado de vulnerabilidad a las inundaciones, como lo ha mostrado la historia reciente: más del 96% de la población de Tabasco vive en esta cota de altitud. El estado tiene 15 ciudades de entre 10 mil y 30 mil habitantes, mientras que solamente hay 74 localidades por encima de los 100 msnm, que suman 27 mil habitantes. Los flujos de transporte más importantes del estado son: entre Coatzacoalcos y Cárdenas, Comalcalco y Macuspana; al noreste entre Frontera y Ciudad del Carmen; y al sureste entre Emiliano Zapata y Tenosique–Escárcega (Mapa 4.1).

En cuanto a su conexión con Chiapas, el flujo es muy bajo, con una gran salvedad que es Palenque (43,000 habitantes). La funcionalidad de esa ciudad en términos económicos (por el sector turístico) y de algunos servicios se da con Villahermosa.

Las recurrentes inundaciones colapsan Villahermosa (ver Capítulo 7) y, por ende, a todo el estado. Esta subregión es vulnerable a este problema al estar expuesta a lluvias torrenciales, sobre todo por el desbordamiento de los Ríos de la Sierra y del sistema Alto Grijalva–Mezcalapa–Carrizal.

Mapa 4.1. Dinámica y flujos del sistema de ciudades.



Fuente: Elaborado por CentroGeo.

En Chiapas, la dinámica es muy distinta. En el área que rodea a la capital se concentra más del 20% de la población del estado. El polo de atracción urbana es, naturalmente, Tuxtla Gutiérrez (537,000 habitantes), y cerca de ella se encuentran San Cristóbal de las Casas (158,000 habitantes), Chiapa de Corzo (45,000 habitantes), Ocozocoautla (40,000 habitantes) y Berrizobal (28,000 habitantes). Sin embargo, este estado está muy poco integrado y funciona más bien en áreas con relativa autonomía y aislamiento, debido a la combinación de factores geográficos, culturales, económicos y a la propia infraestructura. Por ejemplo, Comitán -con casi 100 mil habitantes (Mapa 4.1)- es el centro urbano del que dependen una gran cantidad de localidades dispersas, donde se

dan casos en que para tener una cuenta bancaria es necesario viajar cuatro horas. El aislamiento físico de muchas comunidades rurales es un elemento importante sobre la condición de vulnerabilidad social y las limitantes para el desarrollo sustentable de la población en estas comunidades; por ejemplo, la respuesta institucional ante emergencia por eventos climáticos extremos se dificulta por su aislamiento. Asimismo, el acceso a servicios y recursos de información y tecnología, que aporten a la capacidad adaptativa de las comunidades frente a riesgos climáticos, requiere de consideraciones especiales por su aislamiento.

En Chiapas y Tabasco la densidad poblacional es mayor que la del promedio nacional. En Tabasco, si se considera el espacio posible para vivir, la densidad es aún mayor, puesto que en el estado hay grandes espacios de humedales y cuerpos de agua. La tasa de crecimiento anual en Chiapas es muy alta, de 2% frente al 1.4% nacional; pero quizá la característica más destacada es que alrededor de la mitad de la población de Chiapas y el 40% en Tabasco vive en localidades de 2,500 habitantes o menos, frente al 23% a nivel nacional. Lo anterior evidencia lo difícil que resulta otorgar servicios públicos a la población o establecer sistemas de emergencias comunitarios ante riesgos climáticos.

La dinámica del sistema de ciudades se conforma, por una parte, en función de las interacciones con el resto del país y con la poca influencia de la relación con Guatemala (principalmente del tipo económica y no cultural) y, por otra, por las interacciones de los componentes de la región. Villahermosa tiene una dinámica mucho más intensa de atracción hacia su área de influencia que Tuxtla Gutiérrez. Así, para un análisis general, no es conveniente recurrir a la agregación de ambos estados, sino a su estudio por separado. El apartado 4.2 trata los datos sobresalientes de ambas entidades y su relación con el contexto nacional.

4.2 Algunos datos relevantes de Chiapas y Tabasco en 2010

En una perspectiva nacional, tanto Chiapas como Tabasco son claves para el país. En ambos casos se trata de estados en donde las actividades económicas están estrechamente vinculadas a sus importantes recursos naturales. Tabasco es la entidad que concentra la mayor producción de petróleo y gas natural de México; por su parte, en Chiapas, el sector primario genera un porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) y ocupa a una porción de la fuerza laboral significativamente mayor que en el país en su conjunto. La generación de energía hidroeléctrica y crecientemente la minería son actividades económicas fundamentales del estado que tienen su base en el capital natural de la entidad; además, los recursos naturales y servicios ambientales son únicos y de gran valor.

Sin embargo, el inmenso capital natural de la región ha sido explotado de una manera que no ha contribuido a la formación de otro tipo de capital que mejore la calidad de vida de sus habitantes. Algunos recursos, particularmente el petróleo, el gas natural y la energía hidroeléctrica, son propiedad de la nación y generan rentas que se distribuyen fuera de la región. Otros recursos, como la inmensa biodiversidad, constituyen bienes públicos que, por su propia naturaleza, tienen un valor económico del cual los pobladores difícilmente pueden apropiarse. En el caso de la minería, se trata de una actividad que genera importantes costos locales y cuyos beneficios no se alcanzan a observar en la zona. Como resultado de esta situación, la región Grijalva-USUMACINTA puede describirse como abundante en recursos, pero azotada por una enorme pobreza. El Cuadro 4.1 presenta datos claves respecto a las características de la población en estos dos estados y expone las importantes diferencias entre cada entidad, así como con relación al país.

Cuadro 4.1. Comparativo de características de la población a nivel estatal.

	Chiapas	Tabasco	Nacional
Población total* (%)	4	2	100
Territorio total* (%)	4	1	100
Densidad de población (hab./km ²)	65.4	90.5	57
Tasa de crecimiento anual poblacional (%)	2	2	1
Población en localidades <2,500 habitantes (%)	51	43	23

*Con respecto al nacional.

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010); CONEVAL, 2012.

La aportación al PIB nacional de Chiapas es del 1.9% y de Tabasco del 3.4%. El Cuadro 4.2 muestra las principales actividades económicas para los dos estados. Estas cifras muestran que los recursos naturales son fundamentales para ambas economías estatales.

En ambos estados, la mayor parte de los sectores económicos han sufrido afectaciones importantes por eventos climáticos extremos recientes, como las inundaciones de Villahermosa en 2007. Debido a esto, destacan algunas actividades económicas por su alta sensibilidad frente a riesgos climáticos, como el sector agrícola, ganadero y energético (actividades petroleras e hidroeléctricas) (ver Capítulo 7).

Recursos energéticos

La región es estratégica a nivel nacional por sus importantes recursos energéticos. En Tabasco se genera el 17% de la producción petrolera y 22% de la producción de gas

Cuadro 4.2. Comparativo de las actividades económicas a nivel estatal.

Porcentaje de aportación al PIB estatal (2009)	Chiapas	Tabasco
Actividades primarias		
Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	9	1
Actividades secundarias	25	70
Minería*	7	61
Construcción y electricidad, agua y gas	10	7
Industria manufactureras	8	3
Actividades terciarias	66	28
Comercio, restaurantes y hoteles	18	89
Transporte e información en medios masivos	8	4
Servicios financieros e inmobiliarios	18	6
Servicios educativos y médicos	12	5
Actividades del gobierno	7	3
Resto de los servicios	4	2

* El sector minero incluye la explotación de recursos metálicos, no metálicos y energéticos (hidrocarburos, carbón térmico y uranio) (INEGI: consulta en línea Julio 2013).

Fuente: Sistema de Cuentas Nacionales de México (INEGI, 2011).

natural del país y, excluyendo las aguas territoriales, en el Bajo Grijalva-Usumacinta se concentra el 68% de la producción petrolera y 38% de la de gas natural (PEMEX, 2013). Esta es una zona que, por su importancia económica y alta exposición ante inundaciones por eventos climáticos extremos (huracanes y lluvias torrenciales) y al aumento del nivel promedio del mar, debe considerarse en el diseño del PAOM (ver Capítulo 7). El Mapa 4.2 muestra la importante infraestructura en la región.

El Gobierno de Tabasco y PEMEX tienen presupuestos de magnitud similar para la entidad, lo que da muestra del poder de acción de este último en el estado. Para entender la influencia de PEMEX, la paraestatal tiene un presupuesto de inversión para Tabasco de alrededor de 22 mil millones de pesos para el año 2013⁵. En comparación, los ingresos fiscales ordinarios del estado (sin incluir las transferencias del Gobierno Federal) para el ejercicio fiscal del 2012, correspondían a poco menos de 18 mil millones de pesos⁶. En el estado, la mayor huella social y ambiental la han dejado los más de 50 años de operaciones de la industria petrolera, que ha sido el motor de la modernización acelerada de la entidad. Con ella, han ocurrido transformaciones de fondo que han modificado las relaciones sociales y económicas en las comunidades rurales y zonas urbanas. Asimismo, ha generado daños como la contaminación del aire, agua y suelo, así como cambios en el uso del suelo y alteración de los patrones hidrológicos, además

⁵ <http://www.cumbre.com.mx/pemex/dic1112.html#.Ufcamhbvy8q>

⁶ Proyecto de Presupuesto General de Egresos, Ejercicio 2012. Disponible en: http://www.congresotabasco.gob.mx/LX/trabajo_legislativo/pdfs/decretos/anexos-decreto-181/2.-%20ente-publico.PDF

Mapa 4.2. Instalaciones de PEMEX en Tabasco.



Fuente: SERNAPAM, 2007.

de pasivos y riesgo ambiental por emergencias de fugas y derrames. Derivado de la problemática ambiental, las afectaciones ocasionadas al patrimonio y a las actividades productivas, así como a restricciones temporales de áreas dedicadas a actividades como la pesca, ganadería y agricultura, se han detonado expresiones y movilizaciones regionales en contra de PEMEX (SERNAPAM, 2007). Un elemento clave para el diseño del PAOM es analizar cómo un actor tan relevante como PEMEX en la región, puede incidir en aumentar la resiliencia de su infraestructura y su entorno, tanto social como ambiental, frente al cambio climático.

Los ríos Grijalva y Usumacinta concentran el mayor potencial de generación hidroeléctrica en México. En conjunto, estos ríos tienen un escurrimiento natural medio superficial de 115,536 millones de m³ al año, equivalente al 34% de los volúmenes anuales para todo el país (SEMARNAT, 2011). Actualmente, el complejo de desarrollo hidroeléctrico del río Grijalva, el más grande de México, genera un total de 4,800 MW, que corresponde al 41.7% de la capacidad hidroeléctrica total en operación en México (CFE, 2012). Este gran servicio que Chiapas otorga a la nación no beneficia a su población ya que, irónicamente, es de los estados más atrasados en ofrecer servicio de electricidad a sus habitantes, al igual que los estados de Oaxaca y Guerrero (INEGI, 2010).

Hasta finales del año 2011, existían en el estado de Chiapas tres centrales hidroeléctricas para servicio público, con una capacidad efectiva instalada de 28.4 MW, y no había ninguna planta en la región para autoabastecimiento ni pequeña producción (SENER, 2012)⁷. Cabe destacar que no existe, por el momento, ninguna presa en la porción mexicana del río Usumacinta.

Sin embargo, existe un claro interés para desarrollar nuevos proyectos en la región. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha elaborado diferentes proyectos para estos ríos. De acuerdo con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) 2012-2026, se encuentran en etapa de factibilidad y diseño los proyectos mostrados en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Proyectos hidroeléctricos en etapa de factibilidad y diseño en la región Grijalva–Usumacinta.

Proyecto	Cuenca	No. de unidades	Capacidad central (MW)	Energía generable (GWh)
Tenosique	Usumacinta	3	420	2,022.0
Chicoasén II	Grijalva	3	225	571.3
Acala*	Grijalva	3	135	277.5

* También reportado bajo el nombre “Angostura II”.
Fuente: CFE, 2012a.

Adicionalmente, se han identificado otros proyectos de menor envergadura para la región; la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la CFE identifica nueve económicamente rentables en el estado de Chiapas, con capacidades que van desde 14 hasta 54 MW. Además, a partir de la modificación de la veda del río Grijalva, firmada en octubre de 2012, diversos actores han presentado propuestas para construir proyectos hidroeléctricos menores a 30 MW. Hasta abril de 2013, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) había recibido 11 solicitudes para proyectos hidroeléctricos, de los cuales uno había sido presentado por la CFE y los diez restantes por particulares. De éstos, tres habían sido aprobados, tres se encontraban en revisión, cuatro habían sido rechazados y se desconocía el estado del proyecto restante⁸.

⁷ De acuerdo con SENER (2012) “La clasificación por tipo de central hidráulica de acuerdo con su potencia nominal se define de la siguiente manera, con base en su mayor aceptación en el mundo: Micro; ≤ 100 kW; Mini; $100 < \text{kW} < 1,000$; Pequeña; $1 \leq \text{MW} < 30$.”

⁸ <http://www.oem.com.mx/elheraldodechiapas/notas/n2965187.htm>

Actualmente se observan elementos, tanto para promover como para limitar nuevos proyectos hidroeléctricos en México y en la región. Entre los elementos de promoción, destaca el hecho de que tanto la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética (LAERFTE), como la Ley General de Cambio Climático (LGCC), identifican a las micro-hidroeléctricas como un elemento fundamental para reducir el consumo de combustibles fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. De igual forma, la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 reconoce que “las grandes presas hidroeléctricas encuentran retos cada vez mayores para su desarrollo [...]” y enfatiza que “el país dispone de potencial hídrico para construir centrales de hilo de agua, sin grandes cortinas, que permitan servir, entre otros, como respaldo a los medios de generación intermitente” (SENER, 2013).

Por su parte, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) incluye diversas líneas de acción directa e indirectamente relacionadas con el desarrollo de hidroeléctricas. En concreto, resalta la oportunidad de aprovechar el potencial de nuevas grandes hidroeléctricas, pero éstas únicamente se desarrollarán en zonas en las que se puedan compensar los impactos sociales y ambientales (línea de acción M1.11). Por otro lado, indica que las pequeñas, mini y micro-hidroeléctricas deberán ser promovidas para el autoabastecimiento industrial, actividades productivas en el medio rural y en zonas que presentan altos costos de interconexión a la red, pero asegurando su compatibilidad ecológica y social (línea de acción M1.12).

Entre las condiciones que obstaculizan el desarrollo de nuevos proyectos hidroeléctricos en la región, destacan restricciones legales y la oposición política y social. En el caso del Río Grijalva, el desarrollo de nuevos proyectos hidroeléctricos, cuya capacidad de generación exceda los 30 MW, está impedido por una veda de tiempo indefinido⁹. Adicionalmente, en el caso de Chiapas, el congreso local exhortó al Gobierno del Estado a no permitir la construcción de otra presa hidroeléctrica en la entidad sin que antes se instale una mesa de diálogo, donde se analice una tarifa eléctrica especial y justa para Chiapas.

En el caso del Usumacinta, existe una clara oposición, fundamentada en las posibles repercusiones de dichos proyectos sobre el medio ambiente y los pueblos indígenas, entre otros. Las razones para la oposición de grandes hidroeléctricas se sustentan en experiencias bien documentadas en México y en el mundo entero. Asimismo, es claro

⁹ La veda está sustentada en el “Acuerdo que establece el Distrito de Riego, Drenaje y Control de Inundaciones del Bajo Río Grijalva, en el Estado de Tabasco”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de octubre de 1957. Este instrumento fue modificado el 26 de octubre de 2012, pero dicha veda se mantuvo (DOF, 26 de octubre de 2012).

que existe un rechazo a la manera en que, tradicionalmente, se han distribuido en México los costos y beneficios de los proyectos hidroeléctricos.

En términos generales, las autoridades estatales y organizaciones de la sociedad civil consultadas durante la preparación de este estudio, señalaron que la construcción de proyectos hidroeléctricos no genera ningún beneficio directo para los gobiernos estatal y municipal. De hecho, se señaló que existe una pérdida de recaudaciones fiscales como resultado de estos proyectos, ya que al inundarse el área del embalse, se pierden tierras sobre las cuales los municipios cobraban impuestos prediales. Estos actores también cuestionan los posibles beneficios de los proyectos hidroeléctricos para las comunidades locales, los ecosistemas y sitios de importancia cultural, entre otros.

El “Proyecto Tenosique” ilustra el intenso debate sobre estos proyectos. Éste ha sido identificado por la CFE como uno de los que cuentan con mayor rentabilidad económica. Adicionalmente, la empresa señala que el proyecto evitaría la emisión de 1,145,000 toneladas de dióxido de carbono (tonCO_2), evitaría el consumo de 11,806,000 barriles de combustóleo anuales, generaría 3,000 empleos directos y 3,000 indirectos durante la construcción de la obra, propiciaría la comunicación de poblados por vía fluvial y generaría oportunidades para desarrollar actividades turísticas y acuícolas en el embalse. Adicionalmente, se menciona una derrama económica (no cuantificada) en la región, y la creación de nuevas generaciones de trabajadores calificados¹⁰.

En contraste con lo anterior, estudios realizados por organizaciones de la sociedad civil concluyen que los efectos negativos del proyecto exceden significativamente sus beneficios. De acuerdo con Amezcua *et al.* (2007), el proyecto podría resultar en pérdidas económicas, afectaciones a más de 400 hogares, pérdidas de carbono de 933 mil tonCO_2 como consecuencia de la inundación de selvas y pastizales, y múltiples impactos negativos sobre ecosistemas y sitios arqueológicos de gran importancia. De acuerdo con el estudio, el proyecto impactaría negativamente un área de entre 162,448 y 1775,691 ha de diversos ecosistemas, resultando en pérdidas de servicios ecosistémicos de entre US\$1,744 millones y US\$5,665 millones.

Los posibles impactos ambientales y sociales de las micro, mini y pequeñas hidroeléctricas están menos documentados que los de los grandes proyectos. La experiencia de otros países muestra que los impactos de presas de poca capacidad, particularmente las tipo “filo de agua” que no requieren almacenamiento hídrico, tienen impactos sociales y ambientales comparativamente menores. Sin embargo, incluso este tipo de presas

¹⁰ Tomado de la presentación de PowerPoint elaborada por la Dirección de Proyectos de Inversión Financiada, Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de CFE, diciembre de 2012.

tiene impactos, entre los que se destacan: efectos adversos sobre peces y ecosistemas acuáticos; desvío de un caudal importante del río, con consecuentes afectaciones en el movimiento de sedimentos, los componentes del ecosistema y las comunidades riparias; y los impactos de la infraestructura necesaria para mantener la hidroeléctrica, como pueden ser caminos, corredores de transmisión y otras construcciones que podrían resultar en la fragmentación de hábitats.

Más aún, el establecimiento de varios proyectos hidroeléctricos en una misma región, aún con tecnologías más amigables ambientalmente, podría generar impactos acumulativos o sinérgicos negativos (*University of British Columbia*, 2009; Kibler y Tullos, 2013). Estos impactos no sólo pueden ser significativos, sino más complejos de manejar desde el punto de vista de la regulación ambiental, ya que los marcos legales y normativos de México están menos desarrollados en esta área (Mendoza, 2008). Además, cuando existen diversos proyectos que generan impactos acumulativos, resulta más complejo para la autoridad ambiental definir y monitorear condiciones para evitar o mitigar los efectos adversos (Berubé, 2007).

Diversos estudios enfatizan que, además de los aspectos técnicos, los elementos que pueden fortalecer las contribuciones de las presas al desarrollo sustentable, incluyen mecanismos de transparencia, rendición de cuentas y negociación con todas las partes interesadas (*World Commission on Dams*, 2000; Beck *et al.*, 2012). En el caso de la región Grijalva-Usumacinta, la existencia de tales mecanismos resulta en una condición necesaria para avanzar en cualquier discusión sobre potenciales desarrollos hidroeléctricos.

Minería

La producción minera de la región Grijalva-Usumacinta se centra principalmente en productos no metálicos y, en particular, en el azufre derivado de la refinación de hidrocarburos. El valor de la producción minera de Tabasco y Chiapas en el año 2011 fue de MX\$1,192,547,351.34 y MX\$691,772,236, y equivalen al 0.46% y 0.27% del valor de la producción nacional para ese año, respectivamente. Sin embargo, el valor del azufre producido correspondió a casi el 75% del valor de la actividad minera en ambas entidades. Adicionalmente, la producción en Tabasco y Chiapas contribuyó con el 41% y 24% de la producción nacional de ese elemento (SGM, 2012). Se estima que la producción total de azufre para la región Grijalva-Usumacinta en 2010, fue de 654,007 ton, distribuidas en dos agrupamientos: 174,874 ton en el Bajo Grijalva y 236,841 ton en Ríos de la Sierra.

En Tabasco, los otros productos que generan un mayor valor son la grava (9% del valor de producción), piedra caliza (8%) y arena (7%). En el caso de Chiapas, la

caliza y los agregados pétreos aportan 15% y 10% del valor de la producción estatal, respectivamente.

Aun cuando en 2011 no existían registros de producción de minerales metálicos en Chiapas, la exploración ha tenido mucho auge en los últimos años. Para junio del 2011, el 6.38% de la superficie estaba concesionado al sector minero. Las exploraciones realizadas hasta la fecha por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) encontraron valores de interés para oro y plata en la región norte y noreste de la Sierra Madre de Chiapas. Adicionalmente, existe un área con valores de interés de alúmina soluble alrededor de Pichucalco, que integra porciones de los estados de Chiapas y Tabasco (SGM, 2011).

Si bien las cifras oficiales son modestas en el contexto nacional, existe una gran preocupación en la región por el desarrollo de la actividad minera (tanto legal como ilegal), particularmente en Chiapas, como lo manifestaron los académicos y las organizaciones de la sociedad civil que han sido consultados durante la elaboración de este proyecto. Lo anterior se debe, en gran medida, a que las concesiones mineras coinciden en muchos casos con las poligonales de las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) de la región, por ejemplo, en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, en Chiapas. Este fenómeno no es exclusivo de dicho estado, sino que se manifiesta en todo el país (Mapa 4.3). Esta coincidencia territorial de actividades con propósitos opuestos es una consecuencia del marco legal del sector, el cual permite el aprovechamiento minero dentro de las Reservas de la Biosfera, Áreas de Protección de Flora y Fauna y Áreas de Protección de Recursos Naturales (Secretaría de Economía, 2013).

De acuerdo con organizaciones de la sociedad civil, durante 2000 y 2012, el total de actividades y concesiones para la exploración y explotación minera representó más del 20% del territorio de Chiapas. La mayoría de las concesiones han sido para minería de cielo abierto en zonas indígenas, campesinas y de alta biodiversidad. Los principales efectos sociales de la minería en la entidad incluyen riesgos de accidentes, afectaciones a la salud causadas por la contaminación de agua y suelos, pérdida de tierras de cultivo, escasez de agua para consumo humano, y la intensificación de conflictos sociales. También se advierten importantes impactos negativos irreversibles sobre el medio ambiente, que incluyen deforestación, erosión y pérdida de ecosistemas y los servicios que ofrecen (Otros Mundos Chiapas, 2012).

Por lo menos, desde el 2007 se ha observado la integración de un movimiento de oposición organizado contra los proyectos mineros en Chiapas. Entre los grupos que se oponen a la minería se han identificado: Red Mexicana de Afectados por la Minería (REMA); el Movimiento Mesoamericano contra el Modelo Extractivo Minero (M4); la Diócesis de San Cristóbal de las Casas; y las organizaciones campesinas como

Mapa 4.3. Concesiones mineras y Áreas Naturales Protegidas en México.



Fuente: Dirección General de Regulación Minera. Subdirección de Medio Ambiente, 2013.

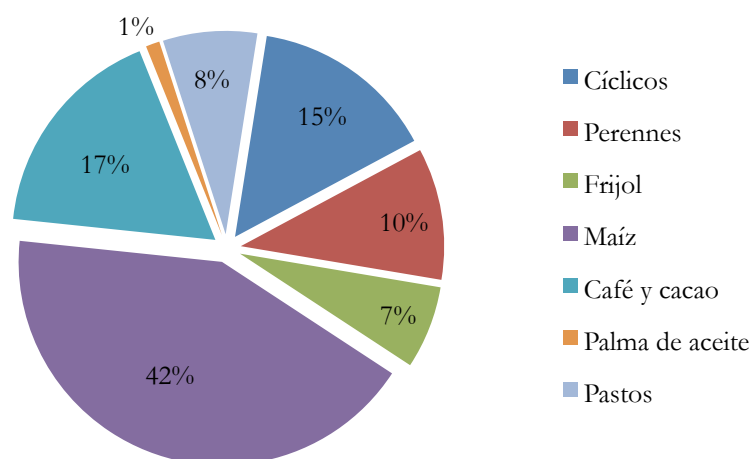
la Organización Campesina Emiliano Zapata (OCEZ), la Organización Proletaria Emiliano Zapata (OPEZ), el Frente Nacional de Lucha por el Socialismo (FLNS), el Central de Organizaciones Campesinas y Populares (COCYP), el Movimiento Campesino Regional Independiente –Coordinadora Nacional Plan de Ayala– Movimiento Nacional (MOCRI-CNPA MN), el Movimiento Mexicano de Alternativas a las Afectaciones Ambientales y al Cambio Climático (MOVIAC/Chiapas) y la Alianza Sierra Madre AC.

Agricultura

Un aspecto clave para entender la vulnerabilidad social frente al cambio climático de la región está ligado al sector agrícola. Chiapas representa el 6.4% de la superficie sembrada en el país, y para el caso del maíz, el 8.9%. Cabe mencionar que la agricultura de esta entidad se caracteriza por sus bajos rendimientos, seguramente relacionados con la producción de autoconsumo, consecuencia, en parte, por la falta de comunicación a

la que están sujetos los productores en comunidades rurales aisladas. Esto es un factor fundamental a considerar, ya que la variabilidad climática aumentará la vulnerabilidad de las poblaciones que dependen del autoconsumo para su subsistencia y pondrá en riesgo su seguridad alimentaria. La Figura 4.1 ilustra la superficie sembrada por tipo de cultivo en el estado.

Figura 4.1. Chiapas: superficie sembrada por tipo de cultivo.



Fuente: Calculado a partir de la OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

En la descripción de las regiones se analiza a mayor detalle la producción agrícola en cada una de las agrupaciones municipales, lo que ayuda a identificar de forma diferenciada en el territorio, la población con mayor dependencia, por ejemplo, de una agricultura de subsistencia.

Otro elemento a considerar es que, a pesar de que se tienen lugares como la Selva Lacandona, la Sierra Madre del Sur y la Selva Zoque, entre otros ecosistemas que otorgan servicios ambientales de enorme valía, no existe una retribución social o económica para la población que habita la región. Chiapas, por ejemplo, es el estado que tiene valores más bajos en términos desarrollo humano¹¹, y el segundo con mayor grado de marginación¹² del país (CONAPO, 2010)¹³. Si bien Chiapas está expuesta

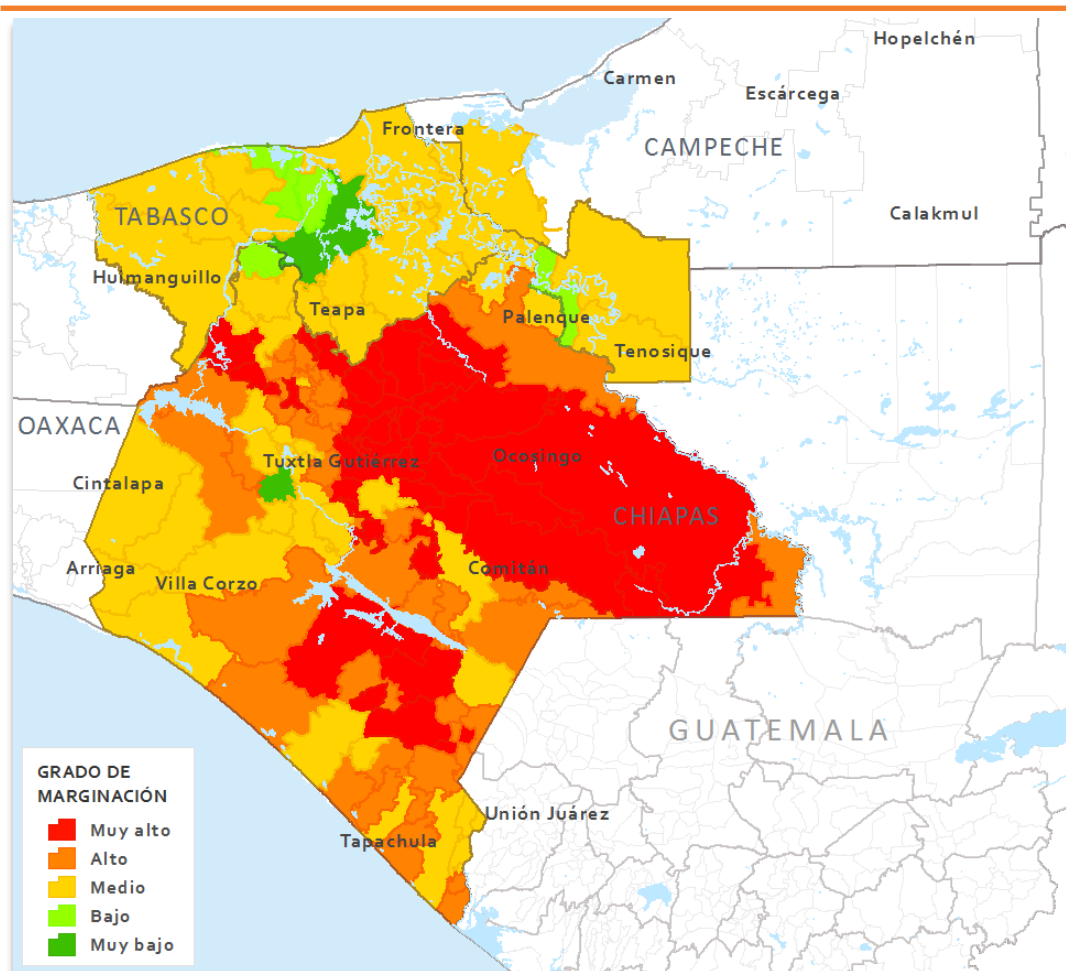
¹¹ Los datos del Índice de Desarrollo Humano (IDH) sitúan a Chiapas como el estado con menor desarrollo humano del país, con 0.64 frente a un 0.73 a nivel nacional.

¹² La marginación es calculada por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) a partir de los datos del censo y toma en cuenta: población analfabeta de 15 años o más, población que tiene o no primaria completa, población que ocupa viviendas sin drenaje, agua entubada, energía eléctrica, el nivel de hacinamiento, el tipo de piso de las viviendas, el tamaño de las localidades, y la población que cuyo ingreso es hasta dos salarios mínimos.

¹³ Con un índice de marginación, de 0 a 100, de 84.14 (CONAPO, 2010).

a eventos climáticos extremos (ver Capítulo 7), el principal rezago es la capacidad adaptativa de la mayoría de la población frente a los riesgos climáticos por la alta vulnerabilidad social, consecuencia de la marginación y pobreza, como se pueden apreciar en los Mapas 4.4, 4.5 y 4.6.

Mapa 4.4. Grado de marginación a nivel municipal.

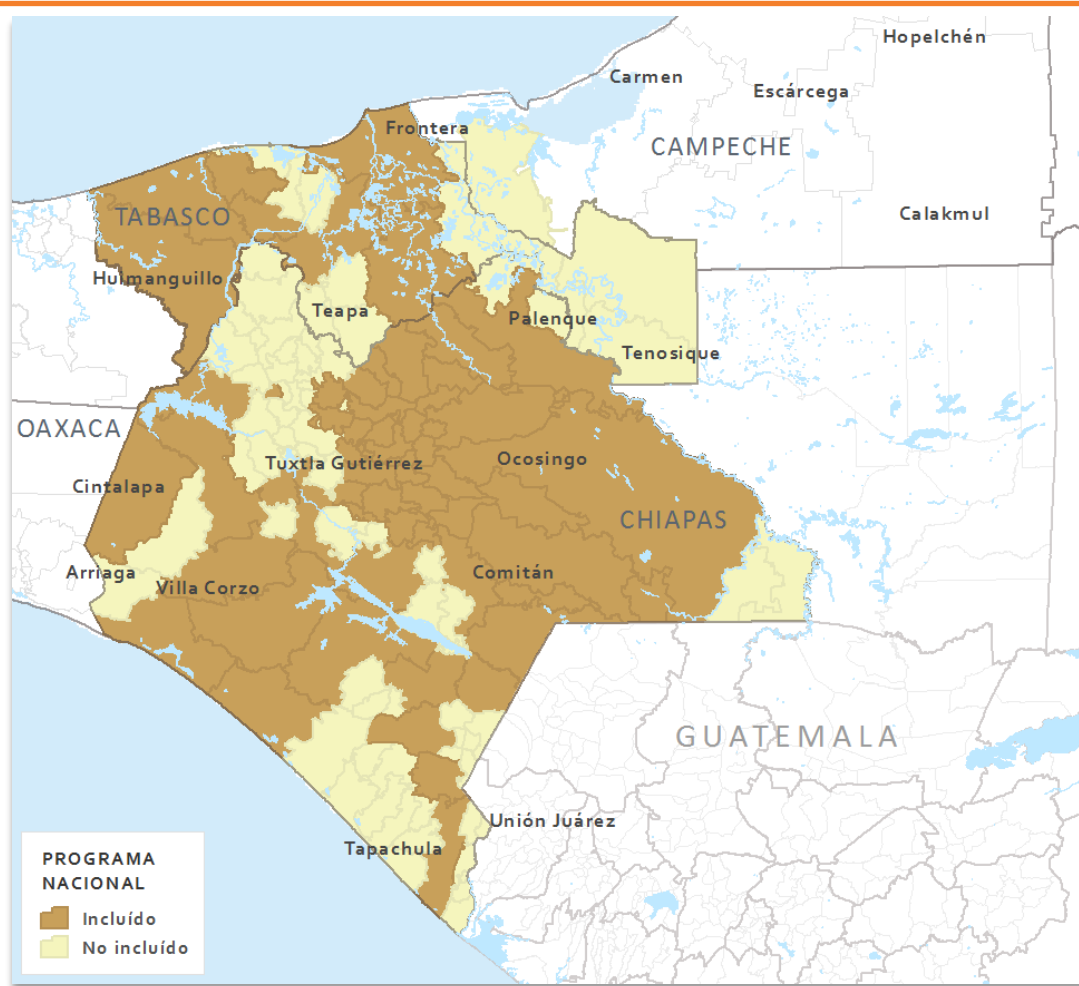


Fuente: Elaborado por CentroGeo con datos de CONAPO, 2010.

Como se aprecia en el Mapa 4.4, Tabasco no tiene municipios con alta o muy alta marginación; sin embargo, existen muchas localidades con alta y muy alta marginación en el resto de la región.

De los 116 municipios contenidos en los agrupamientos de la cuenca Grijalva-Usumacinta, 58 se incluyen en la Cruzada Nacional contra el Hambre. Estos municipios

Mapa 4.5. Municipios incluidos en el programa Cruzada Nacional contra el Hambre de la región Grijalva-Usumacinta.

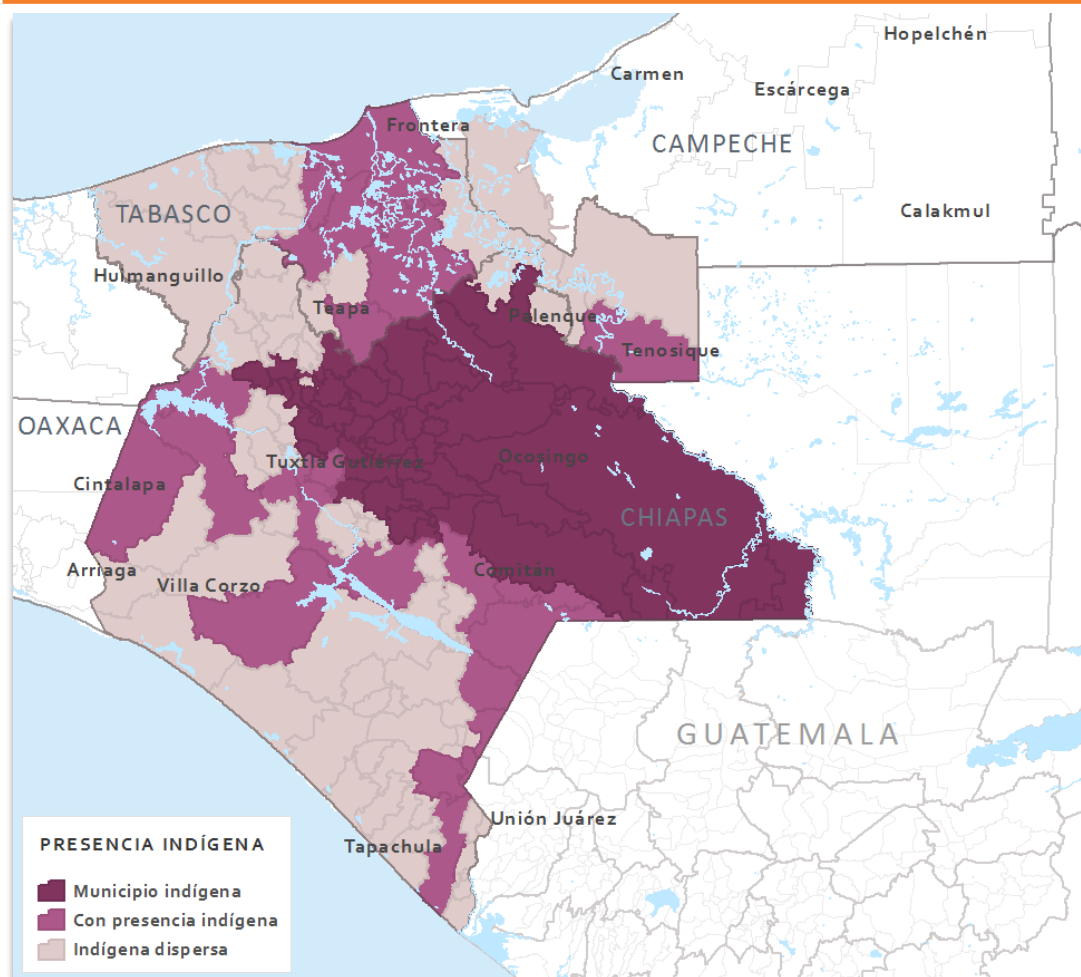


Fuente: Elaborado por CentroGeo con datos de SINHAMBRE (DOF, 2013a)

tienen una consideración especial en la ENCC (ver Capítulo 8) y, por lo tanto, son también de especial atención en este estudio, ya que la seguridad alimentaria es un determinante clave de la vulnerabilidad social frente a los riesgos climáticos. Chiapas alberga junto con Oaxaca la mayor diversidad cultural del país. La presencia de población indígena en la región es alta (Mapa 4.6).

Es importante señalar que gran parte de la presencia indígena se encuentra localizada en zonas rurales, en comunidades pequeñas y, en muchos casos, aisladas. Asimismo, si se comparan los Mapas 4.4, 4.5 y 4.6, coinciden con la presencia de población indígena con altos niveles de marginación, que ahora son parte, en su mayoría, de la Cruzada

Mapa 4.6. Municipios indígenas de la región¹⁴.



Fuente: Elaborado por CentroGeo con datos de CONAPO, 2010.

Nacional contra el Hambre. El PAOM puede integrar acciones que apoyen los esfuerzos para mejorar la seguridad alimentaria desde una perspectiva de adaptación al cambio climático.

Con el contexto estatal descrito, corresponde dar un panorama de las condiciones socioeconómicas de cada agrupamiento de municipios establecidos en la regionalización para el estudio (Capítulo 2).

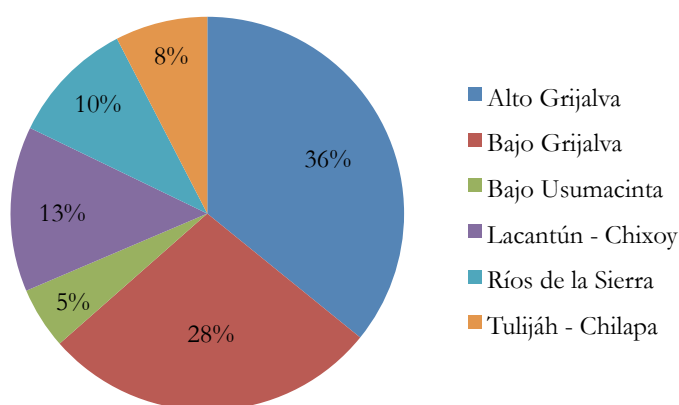
¹⁴ Se utiliza los siguientes criterios: Municipios indígenas: 40% y más de población indígena; presencia indígena: menos de 40% de población indígena y más de 5,000 indígenas, así como municipios con presencia importante de hablantes de lengua minoritaria; y indígena dispersa: menos de 40% de población indígena (CONAPO, 2010).

4.3 Panorama socioeconómico por agrupamiento

La región estudiada tiene, en conjunto, 89,300 km² y en el año 2010¹⁵ contenía a una población de 6,045,072 personas. Para la caracterización socioeconómica se definieron seis agrupamientos municipales: Alto Grijalva, Bajo Grijalva, Bajo Usumacinta, Ríos de la Sierra, Lacantún-Chixoy y Tulijáh-Chilapa (ver Capítulo 2, Mapa 2.1 y Anexo 2).

Como muestra la Figura 4.2, más del 60% de la población en la región de estudio se encuentra entre el Alto Grijalva y el Bajo Grijalva. El Bajo Grijalva presenta la mayor densidad de población, mientras que en Lacantún-Chixoy y Bajo Usumacinta existen áreas con grandes extensiones deshabitadas y baja población.

Figura 4.2. Porcentaje de población de la cuenca Grijalva-Usumacinta distribuida en las seis regiones.



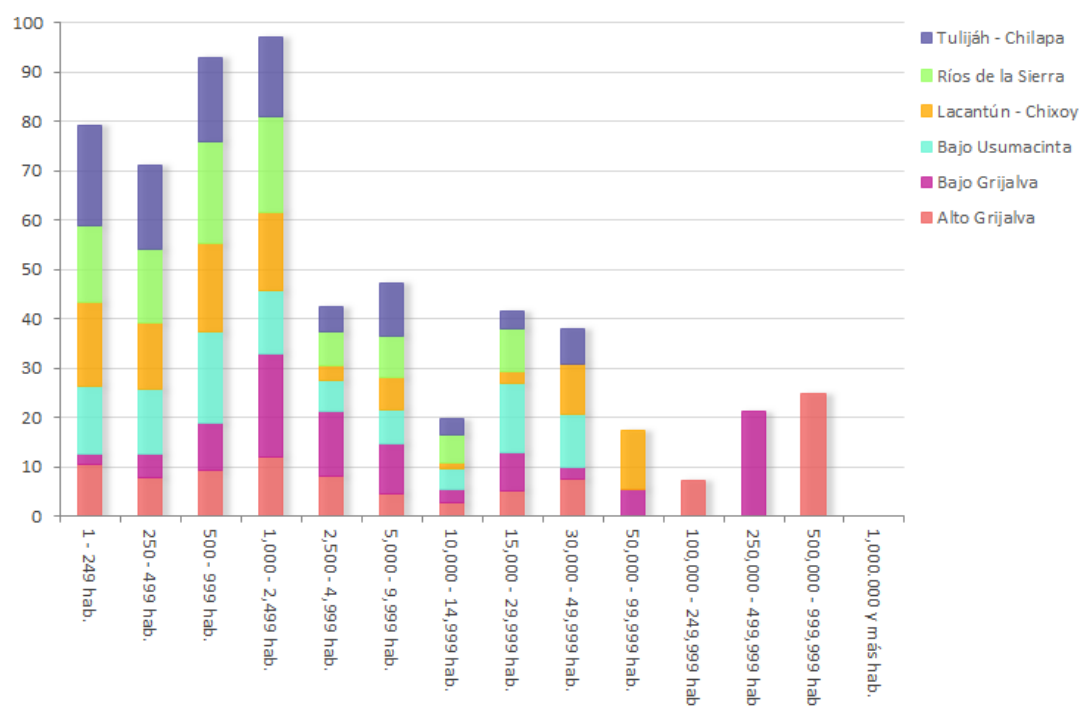
Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

En la cuenca del Grijalva-Usumacinta existen 116 municipios con 18,090 localidades, cuya superficie varía desde 16.5km² hasta 3,718km²; la población por municipio está en un rango de entre 2,000 y 600,000 habitantes. La densidad de población para el conjunto es de 70.3 hab/km², con fuertes diferencias dentro de cada agrupamiento. Las localidades se encuentran relativamente dispersas, sobre todo en los agrupamientos que presentan mayor ruralidad. La mayor parte de la población se encuentra en localidades

¹⁵ Todos los datos de población y vivienda fueron extraídos del Censo del INEGI 2010, consultado en línea. Algunos de los datos fueron calculados para este trabajo cuando no se encontraban expresados de la manera deseada en dicha fuente.

rurales (de menos de 2,500 habitantes), y sólo cuatro de los seis agrupamientos presentan ciudades de más de 50,000 habitantes, como se puede ver en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Porcentaje de la población por agrupamiento según tamaño de localidad, 2010.



Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

La presencia de población indígena varía fuertemente entre agrupamientos, pues en casos como Lacantún-Chixoy, Ríos de la Sierra y Tulijáh-Chilapa, ésta es mayor al 50%, pero en otros agrupamientos es prácticamente nula. Como se señaló anteriormente, existe una importante relación entre las agrupaciones con alta presencia de población indígena y el grado de marginación, lo que a su vez se relaciona con una mayor vulnerabilidad.

De los 116 municipios contenidos en los agrupamientos, 58 (50%) se encuentran entre los prioritarios en la Cruzada Nacional contra el Hambre¹⁶. Los grados de marginación

¹⁶ SEDESOL, 2012.

son notables con 48 municipios en grado Muy Alto, 39 en Alto y 42 en Medio. Lo mismo ocurre en el caso del Índice de Riesgo Nutricional¹⁷, en el que existen 43 municipios en riesgo Extremo, 68 en Muy Alto y 19 en Alto (INCMN, 2003). El Cuadro 4.4 muestra un resumen de los principales datos socioeconómicos para cada agrupación municipal.

Como parámetros importantes de la calidad de vida, a partir de los valores municipales reportados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), se calcularon el Índice de Desarrollo Humano (IDH)¹⁸ y el coeficiente de *Gini*¹⁹ para los agrupamientos. La inequidad promedio en la mayoría de las agrupaciones de municipios es muy alta, pues existen municipios con los mayores índices de desigualdad en el país. Esto indica una concentración del acceso a la educación, salud y recursos económicos en una parte minoritaria de la población, con importantes consecuencias en la distribución de la vulnerabilidad social ante el cambio climático.

En términos de su composición demográfica, es decir, la relación entre hombres y mujeres, los agrupamientos y sus municipios son relativamente similares. Lo mismo ocurre en cuanto a las edades y su distribución; en general, la mitad de los habitantes está por debajo de los 25 años. Alrededor del 30% al 36% de la población se encuentra en situación de dependencia económica en los distintos agrupamientos; estos grupos poblacionales, integrados principalmente por niños y adultos mayores, tienen una mayor vulnerabilidad al cambio climático. La Figura 4.4 muestra la pirámide poblacional del conjunto, donde se observa una población joven, congruente con el contexto a nivel nacional.

El empleo en el sector primario en Chiapas es el más alto del país, con 42% de la población económicamente activa, mientras que en Tabasco también es importante, con el 17%. La Figura 4.5 presenta el valor de producción en el sector primario por agrupamiento municipal.

¹⁷ El Índice de Riesgo Nutricional se compone de 14 variables: 1) déficit de talla; 2) mortalidad por enfermedades diarreicas agudas; mortalidad preescolar; 4) mortalidad infantil según el método Brass; 5) lengua indígena; 6) ocupantes en viviendas sin agua entubada; 7) ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado; 8) ocupantes en viviendas con piso de tierra; 9) ocupantes en viviendas sin energía eléctrica; 10) viviendas con algún nivel de hacinamiento; 11) población ocupada con ingresos hasta dos salarios mínimos; 12) población analfabeta; 13) población de 15 años y más sin primaria completa; y 14) población en localidades con menos de 5,000 habitantes (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición y Zubirán, 2003).

¹⁸ El IDH se basa en ponderar la esperanza de vida al nacer (salud), el ingreso anual per cápita y una combinación del grado promedio de escolaridad y el analfabetismo en personas mayores de 15 años. Éste Índice se utiliza internacionalmente para efectos de comparación del bienestar de la población. El IDH para el país es de 0.739, siendo el Distrito Federal la entidad con mejor desarrollo humano (0.83) y Chiapas el de menor desarrollo humano (0.64).

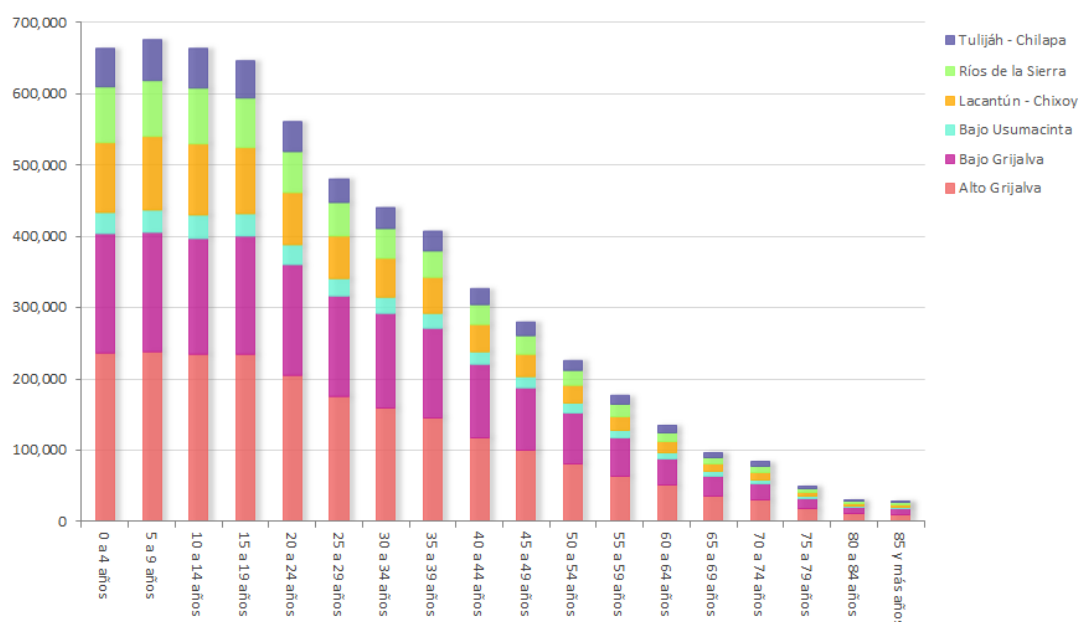
¹⁹ El coeficiente de Gini, mide de la desigualdad en términos de ingreso y distribución de la riqueza, donde 0 equivale a la perfecta igualdad y 1 a la mayor desigualdad posible (CONAPO, 2005).

Cuadro 4.4. Datos socioeconómicos para las agrupaciones municipales.

	Alto Grijalva	Bajo Grijalva	Bajo Usumacinta	Lacantún - Chixoy	Ríos de la Sierra	Tulijáh - Chilapa
Superficie [km ² ; % del total]	28,378 32%	10,170 11%	13,616 15%	23,238 26%	7,179 8%	6,724 8%
Población total [hab.; % del total]	2,166,342 36%	1,672,385 28%	307,304 5%	820,455 14%	619,464 10%	459,122 8%
Población indígena [hab.; % del total]	465,963 22%	69,680 4%	0,128 7%	423,338 52%	328,725 53%	301,703 66%
Densidad de población promedio [hab./km ²]	76	164	23	35	86	68
Municipios [número; %]	53 46%	8 7%	8 7%	13 11%	28 24%	6 5%
Localidades [número; %]	8,785 49%	1,134 6%	1,326 7%	3,487 19%	1,733 10%	1,625 9%
Localidades por cada 10km ²	3.1	1.1	1.0	1.5	2.4	2.4
IDH promedio	0.64	0.76	0.72	0.60	0.63	0.72
Coefficiente de Gini promedio	0.663	0.59	0.699	0.746	0.68	0.72
Municipios en la Cruzada Nacional contra el Hambre	23	5	1	11	12	6
Grado de marginación de municipios:						
Muy alto	20	0	0	8	15	5
Alto	19	0	0	4	6	0
Medio	13	4	7	1	6	1
Bajo	0	3	1	0	1	0
Muy bajo	1	1	0	0	0	0

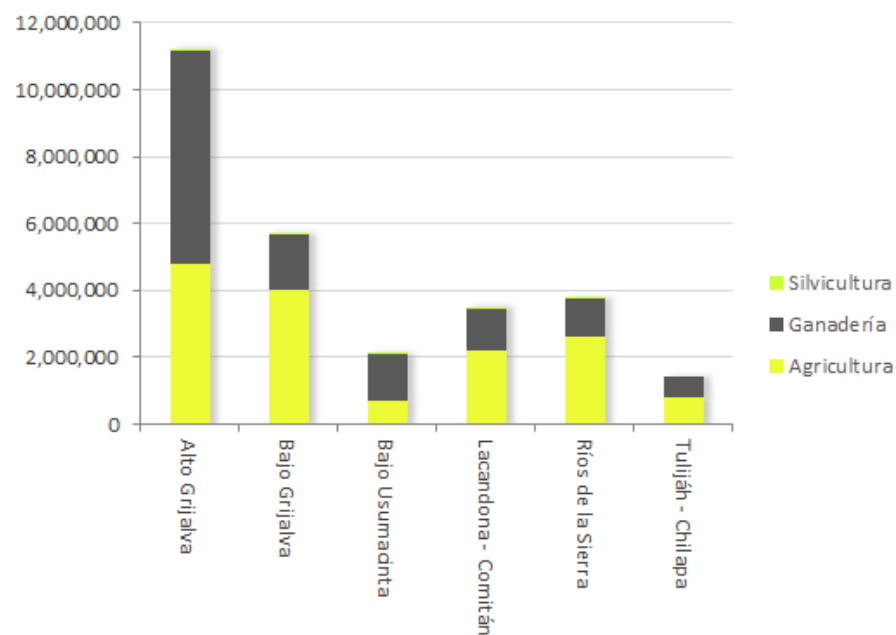
Fuente: CONAPO, 2005/2010; INEGI, 2010; CDI, 2012; SINHAMBRE, 2013.

Figura 4.4. Población por edades y agrupamientos, 2010.



Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

Figura 4.5. Valor de la producción (miles de pesos) por actividad y agrupamiento, 2010.

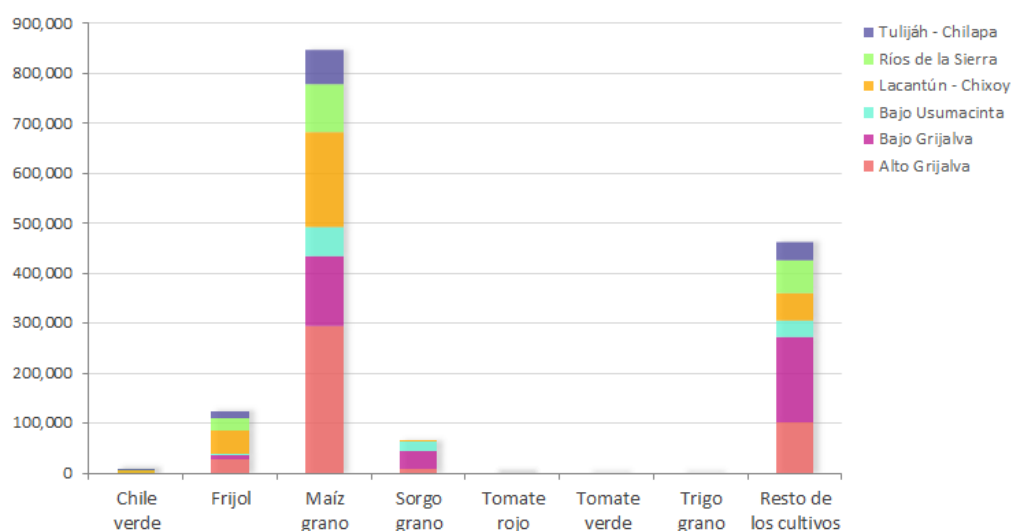


Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

Como muestra la Figura 4.5, la agricultura y la ganadería son los subsectores predominantes en el sector primario en todos los agrupamientos. La ganadería es importante en el Alto Grijalva y el Bajo Usumacinta, mientras que la agricultura es el principal subsector en el resto de los agrupamientos.

En la región se producen principalmente 68 cultivos²⁰ (Figura 4.6), de los cuales el más importante es el maíz en grano, seguido por el frijol. Destaca la presencia de varios cultivos perennes, algunos nativos, que tienen la ventaja de tener mejores producciones por hectárea, así como de mantener una cubierta arbolada. Esto resulta importante no sólo en términos de captura de carbono, sino de la reducción de la vulnerabilidad del área, pues las zonas con cubierta vegetal arbórea evitan deslizamientos, favorecen la recarga de acuíferos y ayudan a regular los temporales. En algunos sitios, la introducción de la palma de aceite resulta preocupante por sus consecuencias ambientales, ya que ha estado asociada, directa o indirectamente, a la pérdida de zonas arboladas.

Figura 4.6. Superficie sembrada por principales cultivos y por agrupamiento, 2010.



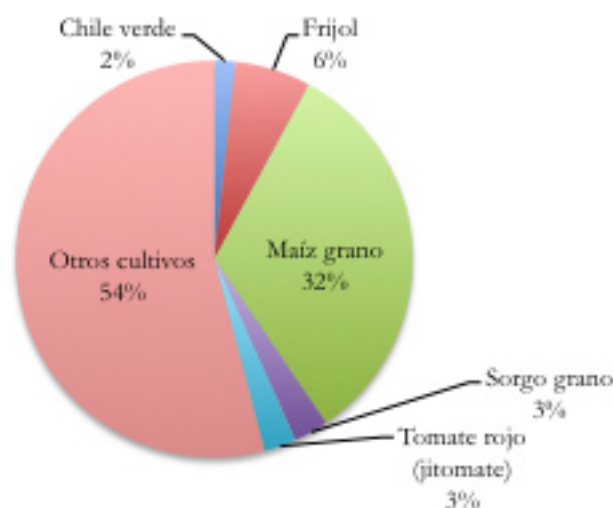
Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

En la Figura 4.6 se muestra que, en términos de superficie sembrada, el maíz en grano es el cultivo más importante en todos los agrupamientos y en el conjunto. El Alto Grijalva es el agrupamiento que más contribuye en términos de producción agrícola al total.

²⁰ ++ Todos los datos de producción agrícola fueron calculados a partir de *OEIDRUS. Estadística agrícola básica: anuarios por entidad. Consultado en línea. Datos del 2010.*

Ahora bien, el maíz no es el cultivo que más aporte financiero tiene en la región, sino el conjunto de “otros cultivos”, que incorpora a los perennes y a varios de tipo tropical (Figura 4.7). El mayor rendimiento de dichos cultivos, aunado a su adaptación a la zona, los hace candidatos ideales para una reconversión productiva a sistemas integrales que permitan, con el tiempo, una buena producción de alimentos, un mejor ingreso y, en los mejores casos, la recuperación y aporte de servicios ambientales clave.

Figura 4.7. Valor de la producción por principales cultivos (miles de pesos), 2010.



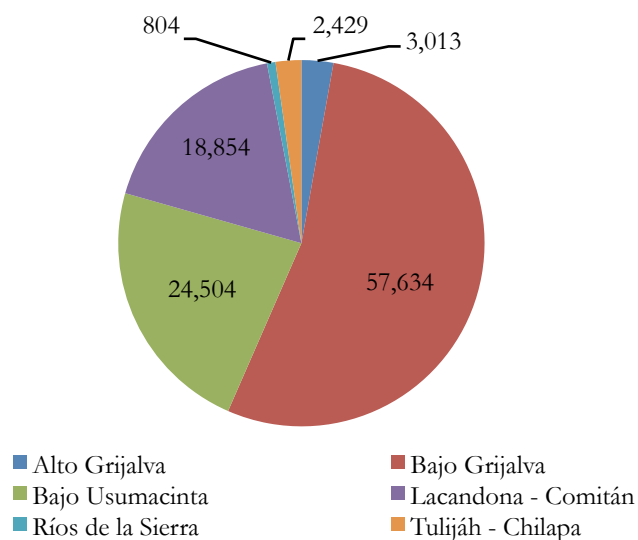
Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

Como un indicativo de la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas se puede tomar la merma (Figura 4.8), es decir, la diferencia entre la superficie sembrada y la cosechada. En este sentido, los agrupamientos más afectados son el Bajo Grijalva, el Bajo Usumacinta y Lacantún–Chixoy, precisamente aquellos donde la condición de pobreza es mayor. Esto sugiere la necesidad de promover la adopción de mejores prácticas productivas, acordes con la zona y sus características naturales y con carácter sustentable.

Esta vulnerabilidad de los sistemas productivos se verá incrementada con los efectos de cambio climático, especialmente en las zonas de agricultura de temporal (Capítulo 7). Actualmente, éste es el tipo de agricultura dominante en todos los agrupamientos, como se puede ver en la Figura 4.9. Las buenas prácticas de captación y manejo de agua son fundamentales para reducir dicha vulnerabilidad.

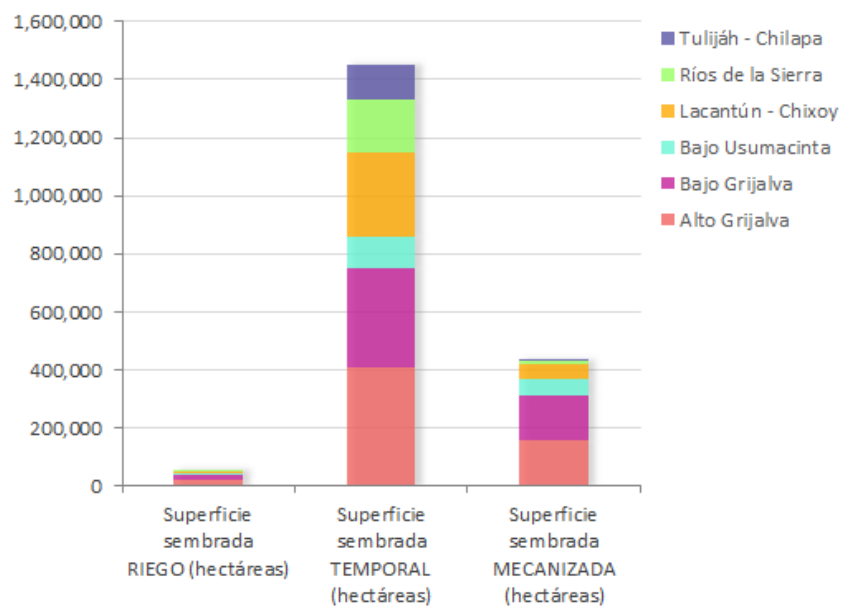
La producción agropecuaria está centrada principalmente en ganado bovino y gallináceas, así como en sus derivados (leche y huevo), seguidos por la producción de carne en canal de ganado porcino (Figura 4.10).

Figura 4.8. Merma [ha] por agrupamiento, 2010.



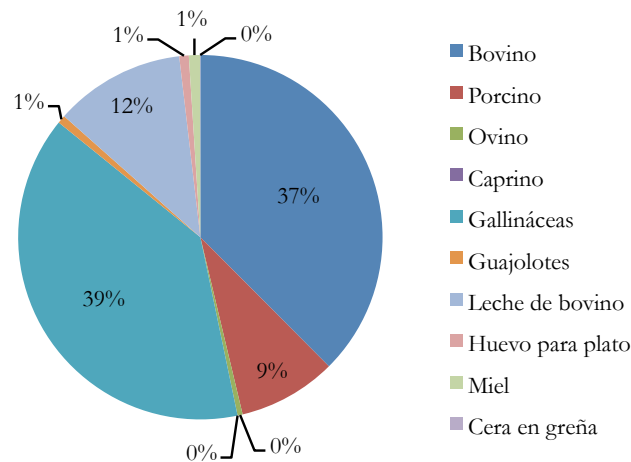
Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

Figura 4.9. Superficie sembrada de temporal, riego y mecanizada (ha), 2010.



Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

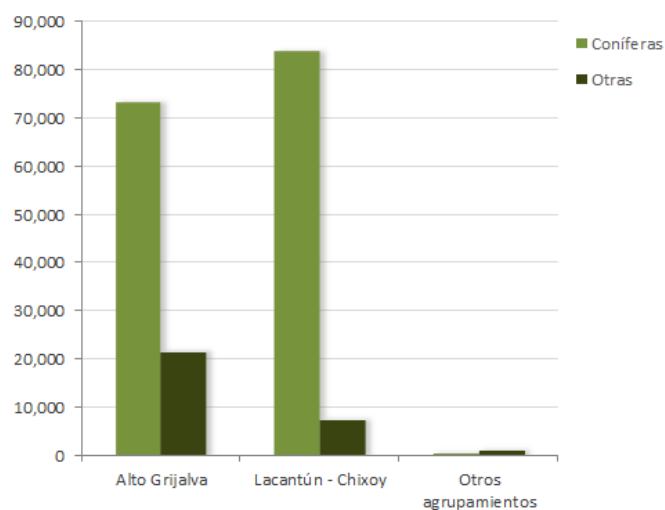
Figura 4.10. Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto, 2010.



Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

La producción forestal está centrada en las coníferas, como se puede ver en la Figura 4.11, que también refleja una concentración en el Alto Grijalva y Lacantún-Chixoy. En el segundo caso, esta práctica representa una amenaza si no se da a través de prácticas innovadoras y de sustentabilidad, dada la importancia de mantener la cobertura vegetal primaria en la zona, considerando su rico capital natural y alta concentración de biodiversidad.

Figura 4.11. Producción (ton) de madera, 2010.



Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010 e INEGI, 2010.

Comparados con el volumen de producción, los productos forestales no maderables representan un ingreso realmente alto en la producción silvícola, especialmente en Ríos de la Sierra. Si bien los productos no maderables no se encuentran enlistados en los tabuladores del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), éstos incluyen con certeza la palma Xate y, probablemente, algunas orquídeas, hongos, musgos, heno y otros productos que se extraen de las zonas forestales.

Ciertamente, el rendimiento económico del “desmonte” no procede únicamente de la venta de productos maderables, sino de la expansión para la agricultura y la ganadería. No obstante, los sistemas integrados con un manejo agro-silvo-pastoril podrían ofrecer alternativas económicas muy importantes, además de mantener la cobertura vegetal, lo que resulta en un doble beneficio para la reducción de la vulnerabilidad tanto social como ambiental de la zona y, por lo tanto, para aumentar la resiliencia ante el cambio climático.

A continuación se presentan elementos clave sobre las características socioeconómicas por agrupamiento municipal. El anexo para este capítulo provee un mayor desglose de datos sobre las características socioeconómicas para cada uno de los agrupamientos.

4.3.1 Alto Grijalva

El Alto Grijalva, ubicado en su totalidad en el estado de Chiapas, es el mayor agrupamiento, tanto en términos de población (2,166,340 habitantes), como de superficie (32% del total del área de estudio) (INEGI, 2010). Asimismo, en sus 53 municipios se encuentran distribuidas el 46% (8,785) de las localidades del área. La concentración de población lo hace una de las regiones más relevantes para el estudio. Es importante considerar que tan solo Tuxtla Gutiérrez (1,624 hab/km²), junto con las ciudades a su alrededor, San Cristóbal de las Casas (466 hab/km²) y Chamula (225 hab/km²), concentran al 37% de la población del agrupamiento en menos del 3% de la superficie, casi un millón de habitantes.

Un dato relevante para la vulnerabilidad social es que, en 15 municipios, el número de personas menores de 25 años excede el 60%, lo que implica una alta dependencia económica de la población joven. Asimismo, en el Alto Grijalva habitan casi medio millón de indígenas, lo que representa el 22% de la población total del agrupamiento. Sin embargo, destacan algunos municipios en los que más del 90% de la población es indígena: Chamula, Ocoatepec, Tapalapa, Zinacantán, Santiago el Pinar, Larráinzar y Aldama.

Existen 20 municipios con muy alto grado de marginación. Sin embargo, considerando a la población total, el agrupamiento no destaca por esta característica, lo que se debe

principalmente al aporte de las ciudades. El IDH obtenido para el año 2005 es de nivel medio de desarrollo humano, con un promedio de 0.65. Las variaciones entre municipios van desde 0.47 (Copainalá) hasta 0.74 (Ángel Albino Corzo). La escolaridad promedio para todo el agrupamiento es de 5.6 años (primaria incompleta); sin embargo, hay fuertes variaciones, desde Chamula (3.3) y otros 36 municipios con menos de 6 años de escolaridad promedio, hasta los 10 años promedio en Tuxtla Gutiérrez. Esto indica una zona con un muy alto nivel de rezago educativo. El Índice de Riesgo Nutricional promediado para los municipios del agrupamiento resulta Muy Alto (6.43), sólo Tuxtla Gutiérrez está categorizado como en Bajo riesgo. Existen 33 municipios en Muy Alto y 15 en Extremo riesgo. En este agrupamiento, 23 (43%) de los municipios se encuentran enlistados como prioritarios en la Cruzada Nacional contra el Hambre.

Sin duda, esto refleja la importancia nacional de la región, ya que en él están los dos grandes embalses y las dos grandes presas del país que generan más del 40% de la energía eléctrica y almacenan cerca del 40% del agua de la nación. Una de las principales amenazas del cambio climático para la región es la afectación en la producción hidroeléctrica con implicaciones a nivel nacional (Capítulo 7).

El Alto Grijalva destaca por las altas contribuciones de sus actividades primarias al valor de la producción total de la cuenca Grijalva-Usumacinta. El Cuadro 4.5 muestra el valor por actividad productiva en esta zona.

Cuadro 4.5. Valor de la producción por actividad productiva y aportación proporcional en 2010 en el Alto Grijalva.

Agrícola		Pecuaria		Forestal		Total
Valor [mdp]	% del total	Valor [mdp]	% del total	Valor [mdp]	% del total	Valor [mdp]
4,776,787	42%	6,415,123	57%	56,392	0.5%	11,248,302

Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS, 2010.

De las actividades productivas en el sector primario, por su valor económico, la actividad más importante es la pecuaria, la cual está centrada en ganado bovino y gallináceas, así como sus principales productos derivados. Como lo muestra el Cuadro 4.6, el Alto Grijalva es responsable de los mayores volúmenes de productos animales de la región.

Es bien sabido el alto impacto que tiene la ganadería sin un buen manejo sobre los ecosistemas. Si el manejo del ganado bovino se hace de manera adecuada, es decir, sustituyendo el pastoreo libre por áreas designadas, su impacto disminuye. La actividad apícola, por su parte, es altamente dependiente de la diversidad florística de la zona en

Cuadro 4.6. Volumen de la producción pecuaria (ton) por producto en 2010 en el Alto Grijalva.

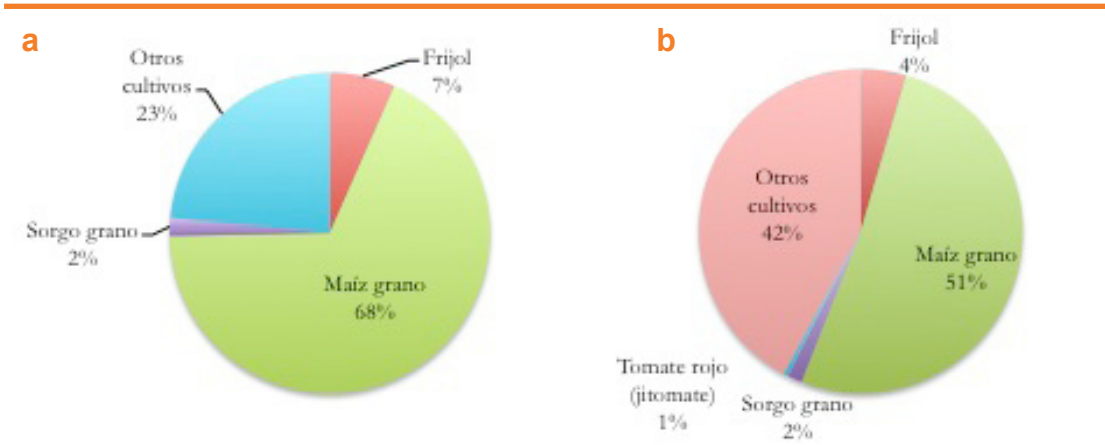
Producto	Volumen de la producción [ton]	Producción en el área de estudio [%]
Carne en canal de bovino	35,797	23%
Carne en canal de porcino	11,646	33%
Carne en canal de ovino	731	53%
Carne en canal de gallináceas	137,898	82%
Carne en canal de guajolotes	336	15%
Leche de bovino (miles de litros)	188,983	50%
Huevo para plato	1,943	34%
Miel	2,041	51%
Cera en greña	36	46%

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

que se encuentra y tiene la ventaja de ser de muy bajo impacto, requerir superficies muy pequeñas y tener un alto rendimiento potencial en términos económicos.

En el Alto Grijalva se cultivan 38 productos, de los cuales, el maíz grano es el más importante en términos de superficie sembrada (294,334.15 ha), la cual representa el 38% del total de la superficie dedicada a este cultivo en el área de estudio. Como se ha mencionado anteriormente, el maíz es uno de los cultivos de subsistencia más importantes y, por tanto, puede ser un buen indicador de una posible vulnerabilidad social y amenaza de seguridad alimentaria frente al cambio climático (Figura 4.12).

Figura 4.12. Superficie sembrada (a) y valor monetario (b) por principales cultivos en el Alto Grijalva, 2010.



Fuente: Calculado a partir de INEGI, Censo de Población y Vivienda, 2010.

Hay un grupo importante de cultivos perennes (19 productos distintos), que representa un total de 22,175 hectáreas; entre los más importantes, en términos de número de municipios que los producen, se encuentran el limón, la naranja y el mango (21, 19 y 15, respectivamente). Por su extensión, los perennes más importantes son la caña de azúcar (11,956 ha), la ciruela (2,594 ha) y el durazno (1,539 ha). Entre el café y el cacao se sembró en el año 2010 un área importante de 65,464 hectáreas. Del total del área dedicada a cultivos cíclicos, los más importantes después del maíz y el frijol (28,489 ha), son: el cacahuate (10,617 ha), el sorgo en grano (8,026 ha) y la papa (1,693 ha). En el Alto Grijalva se concentra la segunda mayor producción forestal del área de estudio; para el 2010 ésta tuvo un valor de 56,392 mdp (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7. Producción forestal por producto en el Alto Grijalva, 2010.

Tipo	Volumen		Valor		Rendimiento mdp/ton
	[ton]	%	[mdp]	%	
Coníferas	73,366	77	43,964	78	0.60
Latifoliadas	11,892	13	4,162	7	0.35
Preciosas	3,053	3	3,359	6	1.10
Comunes tropicales	6,838	7	4,445	8	0.65
No maderables*	0	0	462	1	ND
General	95,149	100	56,392	100	

ND = dato no disponible

* Cabe mencionar que en los datos del INEGI, la producción de no maderables se reportó como cero, pero en el mismo registro aparece un valor de la producción no maderable, de 462 miles de pesos. Es posible que esto se deba a que el volumen de producción sea menor a una tonelada.

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

Como muestra el Cuadro 4.7, las maderas preciosas tienen un mayor rendimiento económico. Es importante considerar que el volumen de producción no refleja las superficies afectadas por su extracción, ya que el tipo de ecosistemas en el que se encuentran este tipo de maderas es particular y con un alto capital natural.

Dado el bajo valor de la producción forestal en el agrupamiento y el alto impacto de la tala, habría que revisar las superficies asociadas a esta actividad y las prácticas forestales que se siguen en el agrupamiento para entender cómo las pérdidas de cobertura forestal pueden estar aumentando la vulnerabilidad de los ecosistemas y las comunidades a sus alrededores, así como afectando la resiliencia regional frente al cambio climático.

En síntesis, el Alto Grijalva destaca por su concentración de población y por su alta sensibilidad frente al cambio climático de sus principales sectores económicos, principalmente agrícola y ganadero, así como el sector de generación hidroeléctrica.

El manejo adecuado de eventos hidrometeorológicos extremos en sus presas es de relevancia para la región, pues implica un riesgo de desastres, principalmente en el Bajo Grijalva.

4.3.2 Bajo Grijalva

El Bajo Grijalva, enteramente contenido en el estado de Tabasco, tiene una población de 1,672,385 habitantes, el 28% de la población en la cuenca Grijalva-Usumacinta (INEGI, 2010).

Existe un alto grado de dispersión entre sus poblaciones: 1.1 localidades por cada 10 km². La mayoría de la población (63%) habita en localidades menores a 15,000 personas y el 37% en menores a 2,500. Sin embargo, la densidad poblacional es de 164.43 hab/km², lo que se debe a que el 33% de la población se concentra en la ciudad de Villahermosa, en el municipio Centro (640,359 habitantes). Otro 40% de la población habita en Cárdenas, Comalcalco y Huimanguillo.

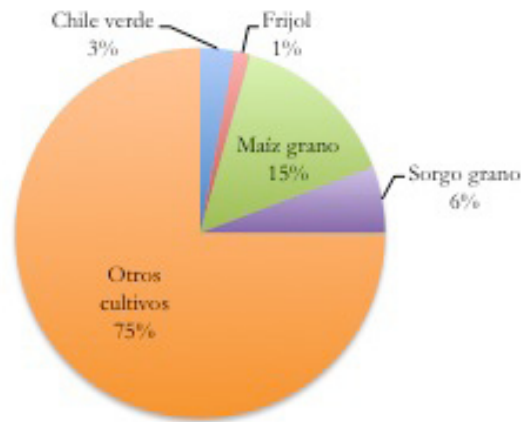
Cinco de los ocho municipios de este agrupamiento son parte de la Cruzada Nacional contra el Hambre (Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunduacán y Huimanguillo). Sin embargo, de éstos ninguno tiene altos grados de marginación (CONAPO, 2010); incluso el municipio Centro tiene un IDH alto (0.83). El desarrollo humano en promedio es alto para el agrupamiento (0.76); sin embargo, al igual que en el resto de la región, la desigualdad es alta y existen en cada municipio segmentos de la población con altos niveles de marginación. Un factor asociado a los altos niveles de desarrollo es el ingreso en las localidades asociadas a las actividades de PEMEX, principal actividad económica en el Bajo Grijalva.

En relación con las actividades del sector primario, el Bajo Grijalva es eminentemente agrícola, en concordancia con su población rural. El 71% del valor de la producción se concentra en la producción agrícola y el 29% en las actividades pecuarias.

En el agrupamiento se producen 37 cultivos diferentes, de los cuales, el más importante, en términos de superficie sembrada, es el cacao (40,600 ha), seguido del maíz grano (26,732 ha), la caña de azúcar (26,690 ha), la copra (8,912 ha) y la naranja (8,018ha). Es uno de los agrupamientos con mayor superficie dedicada a los cultivos perennes (32% de la superficie de este tipo de cultivos en el conjunto). Entre las plantaciones que destacan están también el limón (7,115ha), hule hevea (3,481 ha) y plátano (3,103 ha), como se muestra en la Figura 4.13.

En términos económicos, es el agrupamiento en donde el maíz tiene el menor peso económico, a pesar de la gran superficie que éste representa, lo que probablemente indica producción de autoconsumo.

Figura 4.13. Valor de la producción (miles de pesos) por principales cultivos, 2010, en el Bajo Grijalva.



Fuente: Calculado a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

Es importante destacar que los cultivos perennes, que tienen la ventaja de proveer algunos servicios ambientales, representan un importante valor económico en el agrupamiento. Esto puede aprovecharse como una ventana de oportunidad, aunado al hecho de que se producen bastantes variedades tropicales que posiblemente sean más resilientes frente al incremento de temperatura asociadas con el cambio climático, en comparación con otros cultivos como el maíz (Capítulo 7).

El Bajo Grijalva presenta grandes alteraciones antropogénicas en su entorno, entre las que destaca la desviación antigua del río Grijalva. Como se señaló, es una zona de alta producción agrícola, aunque la mayor parte de su economía proviene de PEMEX. Uno de los grandes problemas ambientales ha sido el reemplazo de los humedales por muelles petroleros y áreas dedicadas a la agricultura. Esto aumenta fuertemente la vulnerabilidad de los sistemas costeros.

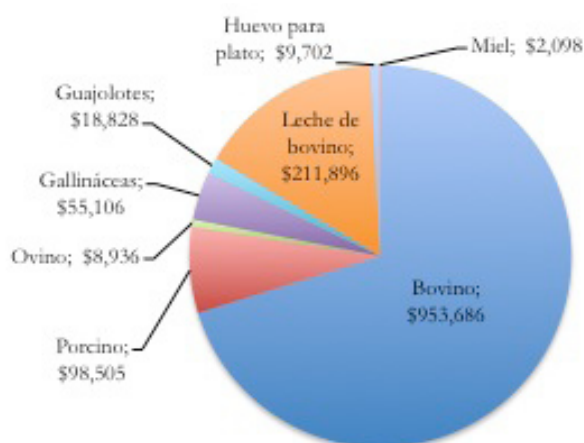
En el Bajo Grijalva se encuentra la carretera entre Villahermosa y Coatzacoalcos, que es la arteria principal del sureste. El riesgo de afectaciones a esta vía de comunicación por eventos climáticos es importante más allá del nivel local, pues conecta el área del sureste con el resto del país.

4.3.3 Bajo Usumacinta

El Bajo Usumacinta concentra la menor población, 4% de la cuenca Grijalva-Usumacinta. Sus ocho municipios se localizan tanto en Chiapas como en Tabasco. Contiene 1,326 localidades que se encuentran altamente dispersas, 1.1 por cada 10 km². La densidad es la más baja del Grijalva-Usumacinta, con 23 hab/km².

En términos de marginación, tiene un municipio con un bajo grado (Emiliano Zapata), mientras que los otros 7 presentan un grado medio. Sólo el municipio de Centla se encuentra en la lista prioritaria de la Cruzada contra el Hambre. En este agrupamiento, la actividad más prominente, en términos económicos, es la ganadería, que representa el 65% de la producción, de la cual el ganado bovino genera la mayoría del ingreso (Figura 4.14). La actividad agrícola representa el 35% de la producción (INEGI, 2010) (Cuadro 4.8).

Figura 4.14. Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto, 2010 en el Bajo Usumacinta.



Fuente: Calculado a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

Esto evidencia la enorme actividad ganadera en el Bajo Usumacinta, con sus consabidas consecuencias en términos de uso de suelo. Habría que analizar el papel de los seguros de las asociaciones ganaderas y su efectividad en esta región, para conocer el grado de vulnerabilidad al que están sujetos los productores.

En este agrupamiento se cultivan 27 productos diferentes. El más importante de éstos, en términos de la superficie sembrada, es el maíz (56,966 ha), seguido del sorgo (18,152 ha) y el arroz (12,198 ha). La palma africana es un cultivo importante, particularmente en Tenosique (2,871 ha) y Balancán (1,600 ha). Además, por su frecuencia de producción, destaca el chile verde, que se cultiva en 7 municipios. Es posible que el papel del sorgo esté relacionado con la actividad ganadera del agrupamiento.

La producción forestal es baja; sin embargo, el rendimiento por tonelada es alto para las maderas preciosas (MX\$3,000 por ton) y para los productos no maderables (MX\$4,000 por ton). Como se ha dicho antes, ésta es una ventana de oportunidad importante, ya que en un agrupamiento con tanta ganadería, los sistemas silvopastoriles resultan, al

Cuadro 4.8. Volumen de la producción pecuaria (ton) por producto, 2010 en el Bajo Usumacinta.

Producto	Volumen de la producción [ton]	Producción del área de estudio [%]
Carne en canal de bovino	32,982	21%
Carne en canal de porcino	4,129	12%
Carne en canal de ovino	223	16%
Carne en canal de gallináceas	2,296	1%
Carne en canal de guajolotes	585	27%
Leche de bovino (miles de litros)	51,809	14%
Huevo para plato	546	10%
Miel	77	2%
Cera en greña	1	1%

Fuente: Calculado a partir del Censo de población y vivienda (INEGI, 2010).

menos en teoría, una interesante posibilidad de combinar buen ingreso con actividades productivas de menor impacto ambiental.

Este agrupamiento tiene dos áreas muy diferentes: la de Tenosique y la de Centla. En el primer caso, se trata de áreas fuertemente transformadas con una agricultura intensa y de tipo convencional. Este tipo de agricultura, como ya se mencionó, aumenta la vulnerabilidad local por ser poco resiliente, además de que tienen impactos ambientales y en la salud pública por el uso de agroquímicos que deterioran la calidad del agua y el suelo. Existe también un ingenio azucarero y una gran actividad ganadera, lo que los hacen agrupamientos de relativa prosperidad económica, sobre todo alrededor de Emiliano Zapata.

La parte de Centla se encuentra mucho menos transformada; de hecho, el 70% del municipio es un área natural protegida. En la orilla hay asentamientos petroleros de PEMEX; esto también contribuye a que los índices sociales relacionados con el ingreso resulten más altos, aunque éstos no se distribuyen de manera general entre los pobladores. También en este agrupamiento se encuentra la ciudad de Frontera, donde pasan juntos los ríos Grijalva y Usumacinta, cuyos pantanos son una fuente invaluable de servicios ambientales de regulación y de protección de biodiversidad, que aumentan la capacidad de los ecosistemas marinos de resistir los efectos de huracanes, mareas altas y el aumento en el nivel del mar.

4.3.4 Lacantún–Chixoy

Lacantún-Chixoy representa alrededor de la quinta parte de la superficie del Grijalva-Usumacinta, con 23,237.61 km². Contiene 13 municipios, todos en el estado de

Chiapas. Es la segunda agrupación con densidad de población más baja en la región. Sin embargo, presentan fuertes variaciones entre municipios debido a la alta concentración de la población en sólo algunos de los municipios: el 69% de los habitantes viven en cinco municipios: Ocosingo (24%), Comitán (17%), Las Margaritas (14%) y Palenque (14%). Existe una polarización entre zonas de muy poca población y algunos centros urbanos (Comitán, Palenque y Ocosingo).

Existe una altísima dispersión en municipios como Maravilla Tenejapa, Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas (0.5 localidades por cada 10 km² en los dos primeros y 0.3 en el último). Éstos se localizan en la zona de la Selva Lacandona, que es todavía muy poco habitada. Es importante notar que la Selva Lacandona es uno de los lugares con mayor biodiversidad por unidad de área del mundo.

En Lacantún-Chixoy más de la mitad de la población es indígena. Además, personas de estos grupos sociales han migrado a esta zona a raíz del zapatismo. En algunos municipios existe una presencia indígena mayoritaria, como en Altamirano (73%), Ocosingo (82%), Huixtán (97%), Oxchuc (99%) y Chanal (100%).

En la Cruzada Nacional contra el Hambre, 11 de los 13 municipios están listados como prioritarios. Asimismo, ocho municipios tienen grado Muy Alto de marginación, cuatro tienen un grado Alto y sólo Comitán tiene un grado Medio. La inclusión de este último en la Cruzada Nacional contra el Hambre podría estar orientada a atender la pobreza urbana. Lacantún-Chixoy sufre del menor nivel de acceso a servicios básicos en Grijalva-Usumacinta. Por ejemplo, la población con servicio de drenaje es de 65%, de agua entubada 78% y que posee refrigerador 49%. Asimismo, el Índice de Riesgo Nutricional señala a cinco municipios en la categoría de riesgo Muy Alto y siete en riesgo Extremo, siendo el peor de los casos el municipio de Marqués de Comillas. Todo lo anterior indica condiciones de pobreza y marginación en la población, así como una alta vulnerabilidad social frente a riesgos climáticos.

Además, el desarrollo humano y el grado de escolaridad promedio es el menor en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Esto limita las capacidad adaptativa de la población frente a las amenazas asociadas con el cambio climático.

La actividad productiva está centrada en la agricultura (62%) y en la ganadería (36%). A pesar de la poca importancia económica de la producción forestal, es un sitio de altas tasas de producción maderera, específicamente de coníferas y latifoliadas.

En cuanto a los cultivos, se producen 26 tipos, de los cuales 11 son cíclicos. El maíz representa, por mucho, la mayor superficie sembrada, con 189,858 ha. El frijol se sembró en 47,042 ha y el resto de los cíclicos en sólo 7,786 ha. La producción de café y cacao son importantes en la zona, con 27,734 hectáreas entre ambos. Existe una muy

importante producción de palma africana, con 11,777 ha sembradas, que representa el 38% de la producción total en el Grijalva-Usumacinta.

En términos económicos, el maíz es el cultivo más importante, aunque no en la proporción en que domina a la superficie cultivada. Esta discrepancia puede deberse tanto a la agricultura de autoconsumo, como a sus bajos rendimientos.

La producción pecuaria más importante, en términos de volumen y valor, es el ganado bovino, que representa aproximadamente el 15% de la producción total del Grijalva-Usumacinta. Es importante recordar nuevamente el impacto de la ganadería, sobre todo si se desarrolla cerca de áreas de gran valor por su capital natural y provisión de servicios ambientales como la Selva Lacandona.

En Lacantún-Chixoy se concentra la segunda mayor producción forestal en la cuenca del Grijalva-Usumacinta. Las coníferas representan la mayor proporción en términos económicos dentro de los productos forestales del agrupamiento. Sin embargo, es notable el muy bajo rendimiento de la producción de maderas de coníferas (0.6 miles de pesos por ton) y al igual que la producción de maderas latifoliadas (0.35). El Cuadro 4.9 muestra la producción forestal.

Cuadro 4.9. Producción forestal por producto, 2010. Lacantún-Chixoy.

Tipo	Volumen		Valor		Rendimiento mdp/ton
	[ton]	%	[mdp]	%	
Coníferas	83,890	92	50,143	93	0.60
Latifoliadas	4,016	4	1,406	3	0.35
Preciosas	218	0.2	240	0.4	1.10
Comunes tropicales	3,372	4	2,192	4	0.65
General	91,496	100	53,981	100	

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

El bajo rendimiento sugiere que la mayor parte de la producción forestal tiene más que ver con apertura de tierras para la agricultura, muy probablemente relacionado con la producción de palma de aceite, lo cual tiene implicaciones relevantes para la conservación de ecosistemas claves en la región.

Como se mencionó anteriormente, en Lacantún-Chixoy se encuentra la Selva Lacandona. Además, incluye otros ecosistemas importantes como bosque templado y de niebla. Existen numerosas áreas naturales protegidas: Montes Azules, Metzabok, Nahá y Bonampak, así como numerosas áreas de protección por restos arqueológicos, las cuales contienen una enorme importancia biológica y cultural.

La población en general sufre de una condición alta de vulnerabilidad social. El aislamiento y dispersión entre asentamientos ha mantenido cierto grado de conservación de su superficie vegetal original, aunque también ha limitado el acceso a servicios. Es un reto importante atender las necesidades de esta población sin afectar uno de los sitios con mayor capital natural del país, y cuya presencia implica una mayor resiliencia en términos generales para toda el área por los servicios ambientales que provee.

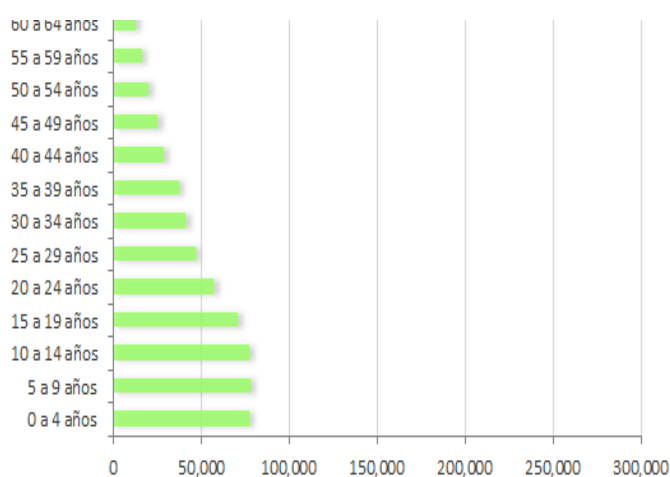
4.3.5 Ríos de la Sierra

En Ríos de la Sierra la población se encuentra en localidades pequeñas y dispersas, con una fuerte presencia indígena. La región está casi enteramente contenida en el estado de Chiapas, a excepción de tres municipios que se encuentran en Tabasco: Jalapa, Tacotalpa y Teapa. Existe una alta división municipal, si se considera la superficie del área, lo que es importante considerar para hacer gestión en la zona.

Las localidades están distribuidas a razón de 2.4 por cada 10 km², con valores muy diversos, que van de 0.6 hasta 12 localidades por cada 10 km². Tiene una importante población menor a 25 años (58% del total); sin embargo, hay municipios con un mucho mayor porcentaje de población joven, por ejemplo, Chalchihuitán (68%) y Mitontic (69%). En este último municipio, el 17.8% de la población total es menor de 4 años (INEGI, 2010). La Figura 4.15 muestra la distribución de la población por edades.

Alrededor de la mitad de la población es indígena, aunque se presentan muchas diferencias entre los municipios. En algunos, esta población es prácticamente nula; sin

Figura 4.15. Distribución de la población por grupos de edad, 2010.



Fuente: Calculado a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

embargo, hay 12 municipios en que el valor es mayor a 80% y, de éstos, 8 tienen una población de por lo menos 95% de presencia indígena: El Bosque, Sitalá, San Andrés Duraznal, Chenalhó, San Juan Cancuc, Tenejapa, Chalchihuitán y Mitontic.

Ríos de la Sierra presenta altos grados de marginación con 15 de sus 28 municipios en la categoría de Muy Alto y 6 en Alto. Son 12 los municipios enlistados como prioritarios en la Cruzada Nacional contra el Hambre: El Bosque, Chalchihuitán, Chenalhó, Huitiupán, Mitontic, Pantelhó, Pueblo Nuevo Solistahuacán, Sabanilla, Simojovel, Sitalá, Tenejapa y San Juan Cancuc. Como se puede apreciar, casi todos los municipios con una gran mayoría de presencia indígena son parte de la Cruzada.

El grado promedio de escolaridad es muy bajo (5.5 años). Cuatro municipios no alcanzan los cuatro años: Mitontic, Sitalá, Pantelhó y San Andrés Duraznal. El desarrollo humano en algunos municipios es bajo como en Simojovel y San Andrés Duraznal (0.44 ambos). El Índice de Riesgo Nutricional reporta a 17 municipios en situación de riesgo Extremo y ocho se encuentran en Muy Alto riesgo. Nuevamente, resalta el problema de seguridad alimentaria en Ríos de la Sierra y las posibles amenazas que el cambio climático presenta en este sentido.

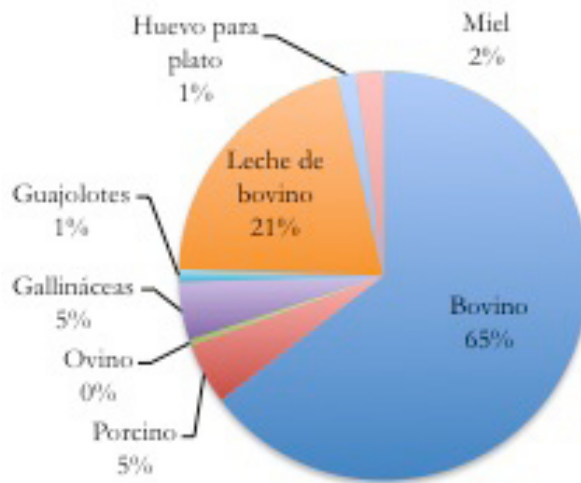
La gran mayoría de la actividad productiva corresponde a la agricultura (70%). En términos económicos, la tercera parte corresponde a los productos pecuarios. En relación a la producción forestal, es notable el aporte en valor de los productos no maderables.

De los productos que se cultivan en este agrupamiento, los más importantes respecto a la superficie sembrada son: maíz (94,645 ha), café (46,191 ha), frijol (24,201 ha), plátano (10,934 ha) y cacao (6,639 ha). Los productos perennes se reportaron en 12,831 hectáreas, siendo el municipio de Pichucalco el más destacado en esta producción, donde se produce plátano.

En este agrupamiento es particularmente notable la poca aportación económica del maíz (17% del total), en comparación con la superficie que le es dedicada (51% del total), lo que podría deberse al autoconsumo, como en otros casos, pero también a que no haya vocación para este cultivo en los sitios en los que se está sembrando, o a la incapacidad de colocarlo en el mercado de manera adecuada.

La producción pecuaria está centrada en el ganado bovino, con una importante producción tanto de leche como de carne en canal. Sin embargo, el relieve accidentado de la zona no sugiere que ésta sea especialmente apta para la ganadería. Sería interesante conocer los coeficientes de agostadero y el rendimiento por superficie empleada, para determinar si estas prácticas son realmente convenientes para los pobladores, en términos no sólo económicos, sino con miras a una sustentabilidad futura (Figura 4.16).

Figura 4.16. Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto en Ríos de la Sierra, 2010.



Fuente: Calculado a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

La producción forestal es poca y de bajo rendimiento, centrada especialmente en las coníferas. Sin embargo, destaca el papel de productos no-maderables en términos de valor. Desgraciadamente, el dato de volumen original está reportado como cero, por lo que es imposible conocer el rendimiento. Sin embargo, el valor reportado para estos productos representa la mayor parte de la ganancia forestal (96%), por lo que valdría la pena conocer más sobre cuáles son los productos que se están comercializando.

Este agrupamiento representa a la cuenca original del Grijalva, antes de su desviación. Los ríos empiezan en zonas altas y adquieren muy pronto un caudal veloz, que en caso de excederse es una amenaza fuerte para las poblaciones locales. El flujo del agua en los ríos en esta zona adquiere velocidad, que es causa de las posteriores inundaciones de las partes bajas en Tabasco, donde los humedales que detenían la corriente de agua se han convertido en urbanizaciones. El manejo del uso del suelo es, por lo tanto, un tema de seguridad para mitigar riesgos por inundación ante eventos climáticos extremos.

4.3.6 Tulijáh-Chilapa

Tulijáh-Chilapa es el agrupamiento más pequeño del conjunto en términos de su superficie. Corresponde a la cuenca del río Tulijáh, que pasa por Macuspana y se une posteriormente al Grijalva; en él se encuentran las cascadas de Agua Azul. Una gran parte de su territorio es reserva forestal, correspondiente a la Reserva de Tulijáh y del Usumacinta. Concentra también el menor porcentaje de población de la cuenca Grijalva-Usumacinta: 459,122 habitantes en seis municipios, de los cuáles sólo Macuspana corresponde al estado de Tabasco, mientras los demás se encuentran en Chiapas.

La población en localidades estrictamente rurales alcanza el 70%; las de mayor tamaño, entre 15,000 y 50,000 habitantes, se encuentran en los municipios de Macuspana y Yajalón. Este agrupamiento presenta una proporción de población indígena alta, del 66%. Todos los municipios que lo componen, excepto Macuspana, se consideran indígenas y tienen entre 79% (Yajalón) y 98% (Tumbalá) de esta población. En el caso de Macuspana, la población indígena es de 10%. Los municipios de este agrupamiento tienen un Muy Alto grado de marginación, a excepción de Macuspana; aunque todos están dentro de la lista de prioritarios en la Cruzada Nacional contra el Hambre.

Macuspana es el municipio con mayor grado de escolaridad promedio, 8.33 años. Los demás, no tiene la primaria completada, pues reportan menos de 6 años de escolaridad. Todos los municipios están en categorías de riesgo nutricional severas, con uno en Alto, uno más en Muy Alto, y los otros cuatro en la categoría de Extremo.

En este agrupamiento, las actividades productivas, en términos de valor, están repartidas en partes más o menos iguales entre la producción agrícola (57%) y ganadera (43%). A pesar de su poca superficie, en este agrupamiento se producen 11 cultivos diferentes. Entre ellos, los tres más importantes son: maíz (68,337 ha), café cereza (31,244 ha) y frijol (15,565 ha). Se produce también palma africana en 1,598 ha. Nuevamente existe discrepancia entre el valor del maíz y la superficie que se le dedica. Es probable que sean los cultivos como la macadamia, naranja y otros perennes, los que más contribuyen en términos económicos.

En la ganadería se produce, sobre todo, carne de bovino en canal y leche, los que destacan por mucho de entre toda la actividad pecuaria. A pesar de no representar muchas toneladas en producción, el ganado porcino tiene un aporte significativo en términos económicos (Figura 4.17).

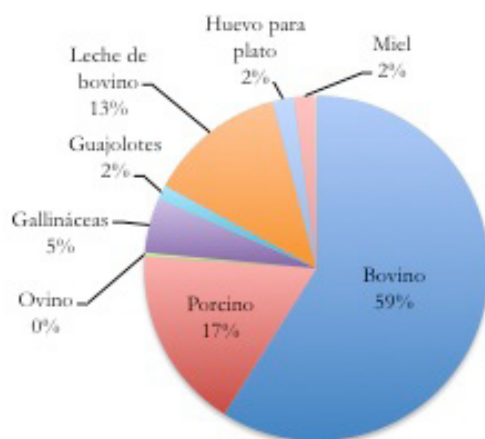
Un tema a destacar es la marginación y rezago social en Tulijáh-Chilapa, que resulta en una condición de alta vulnerabilidad social y limitada capacidad adaptativa de sus pobladores frente a las amenazas del cambio climático.

4.4 Conclusiones

En conjunto, el contexto socioeconómico en la cuenca del Grijalva-Usumacinta presenta altos grados de marginación y rezago social, con una importante parte de la población que dependen del sector primario, en muchos casos no tecnificado, y que vive de cultivos de subsistencia en comunidades rurales dispersas.

En Tabasco, las actividades petroleras de PEMEX han significado una fuerte transformación social y ambiental. Los ecosistemas han sido afectados, así como los servicios que proveen a las poblaciones humanas. Desde la perspectiva del cambio

Figura 4.17. Valor de la producción pecuaria (miles de pesos) por producto en Tulijáh-Chilapa, 2010.



Fuente: Calculado a partir del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

climático, estas actividades han dañado los servicios que los ecosistemas dan como barrera natural ante eventos climáticos extremos, lo que afecta la resiliencia de las comunidades humanas.

En Chiapas, la pobreza y condición de marginación implican una situación de alta vulnerabilidad social. El cambio climático presenta una amenaza a las actividades agrícolas, con posibles impactos en productividad y producción para el autoconsumo y con riesgos de seguridad alimentaria.

Ambos contextos estatales plantean el gran reto de mejorar condiciones de vida humana sin perder los servicios ambientales que sostienen esas condiciones, y que son invaluableles por su alta importancia ambiental para el país.

En el contexto de cambio climático, esto implica reducir la condición de vulnerabilidad social; sin embargo, la intervención debe ir encaminada a proteger a la población sin perder los servicios ni poner en riesgo el capital natural que el área contiene. Como se ha explicado a lo largo de este capítulo, el desarrollo sustentable en ambos estados ha estado y seguirá estrechamente vinculado a los valiosos recursos naturales de la región. No obstante, la manera en que estos recursos se han aprovechado, ha resultado en un gran deterioro de los ecosistemas, sin que este uso del capital natural haya generado otros tipos de capitales que permitan mejorar las condiciones de vida de la mayor parte de la población. Las actividades petrolera, hidroeléctrica y minera son ejemplos de actividades económicas altamente rentables, posiblemente en procesos de expansión y que hasta ahora han generado beneficios cuestionables para los pobladores de la región.



5

**Caracterización
biofísica**

5. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

5.1 Ubicación y contexto fisiográfico

Ubicada en la frontera entre México y Guatemala, la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta tiene una extensión de 13.2 millones de hectáreas y un volumen de escurrimiento medio anual de 71,715.7 hm³ de los cuales, el escurrimiento aguas arriba proveniente de Guatemala es de 43,819.6hm³ (CONAGUA, 2011). Sus latitudes extremas son: 18° 45' latitud norte y al sur los 14° 50' latitud norte, al extremo oriente se ubica en los 89° 5' y al oeste en los 94° 15'.

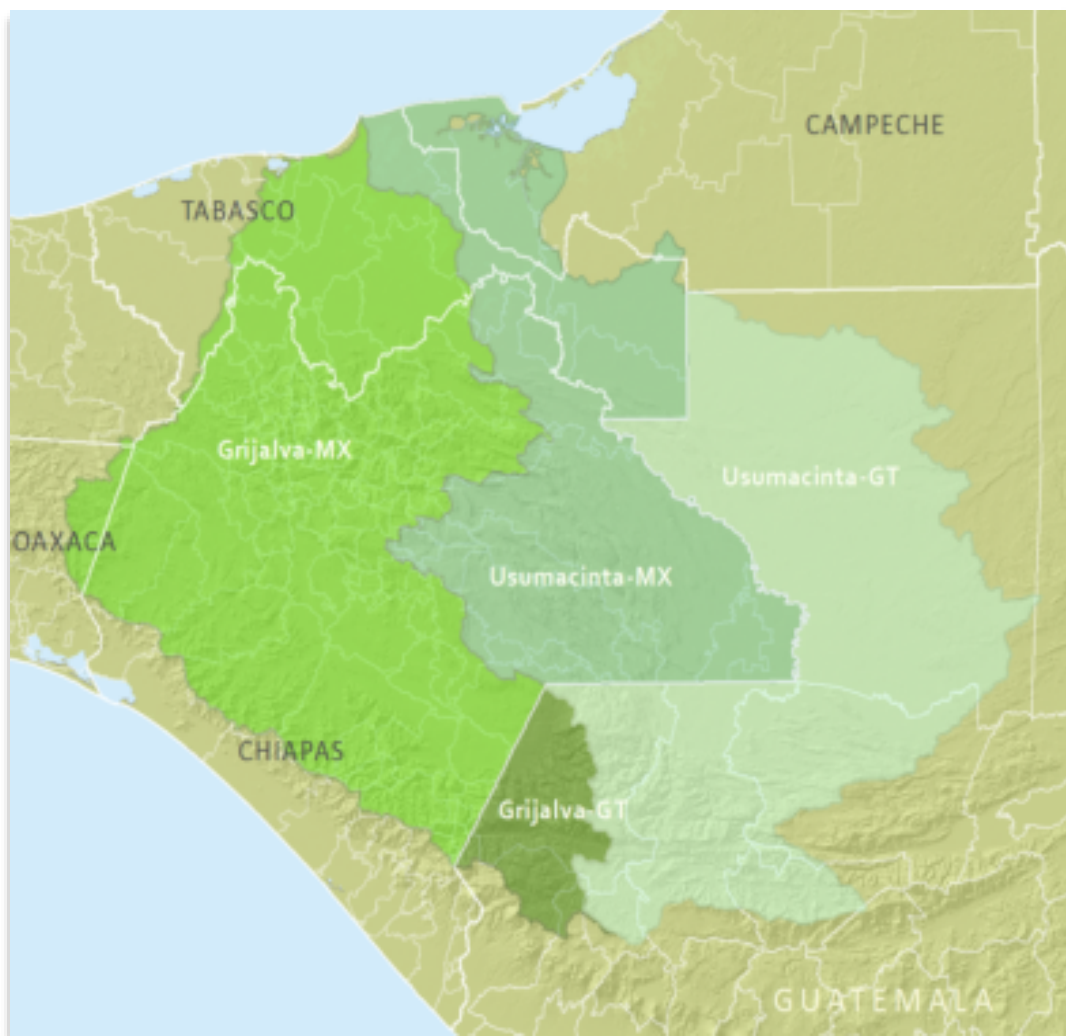
La cuenca es un gran sistema hidrológico constituido por el río Usumacinta, el más caudaloso de México, y el río Grijalva que aporta el 32.2% del escurrimiento total del sistema (INE, 2000). En su unión, localizada a un poco más de 25 km de su desembocadura en el Golfo de México (tres brazos), se forma el delta Grijalva-Usumacinta en el municipio de Centla, Tabasco, considerado como el sistema más importante de Centroamérica y el séptimo a nivel mundial (Sánchez *et al.*, 1988).

La porción mexicana de la cuenca representa el 64% del total de la extensión; mientras que la cuenca del río Grijalva, con 5.7 millones de hectáreas, tiene un mayor porcentaje de territorio en México (90.5%), y la cuenca del río Usumacinta, con 7.5 millones de hectáreas, tiene su mayor porcentaje en Guatemala (56%). En el territorio nacional, la cuenca se encuentra ubicada, principalmente, en las entidades federativas de Chiapas y Tabasco, además de un municipio en el estado de Campeche y tres en Oaxaca. En Guatemala, la cuenca se ubica en los departamentos de Petén, Alta y Baja Verapaz, Quiché, Huehuetenango, San Marcos, Totonicapán y Quetzaltenango; lo anterior significa que para México la cuenca representa el 4.7% de la superficie continental del país y para Guatemala se trata del 43.7% de su superficie total (Mapa 5.1).

La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta comprende un complejo fisiográfico integrado al sur por la Sierra de los Cuchumatanes, caracterizado por formaciones de materiales sedimentarios de mayor altura en toda Centroamérica, con altitudes superiores a los 3,600 msnm que se extienden como una media-luna desde el sur de Chiapas, al norte del río Chixoy, y de ahí hasta las montañas de las Verapaces al este, atravesando los departamentos de Huehuetenango y El Quiché. Al oeste, la Sierra Madre de Chiapas constituye el parteaguas entre la vertiente del Pacífico y del Golfo en el estado.

La Sierra Norte de Chiapas al centro, los suaves lomeríos de la Sierra Lacandona y las Tierras Bajas del Petén en Guatemala al este, y las Llanuras Costeras de Tabasco al norte, integran un variado mosaico de paisajes terrestres que descienden desde

Mapa 5.1. Ubicación y extensión de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



alturas cercanas a los 4,000 msnm hasta el nivel del mar en el Golfo de México, lo que favorece la formación de una gran variedad de ecosistemas terrestres, costeros y marinos (Toledo, 2003; MARN-URL/IARNA-PNUMA, 2009; De la Maza y Carbias, 2011) (Mapa 5.2).

En su porción mexicana, la cuenca se caracteriza por tener una diversidad de relieves, desde las sierras altas del sur a varios miles de metros sobre el nivel del mar, pasando por mesetas en la zona central de la región, hasta llanuras costeras. En la Sierra Madre de Chiapas, el volcán Tacaná, a 4,080 msnm, se erige como referencia en altura que desciende hasta los 1,500 msnm en los límites con Oaxaca. La Meseta Central o

Mapa 5.2. Contexto fisiográfico de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



Altiplanicie se localiza en la parte central de Chiapas, y en ella se forma el parteaguas entre las cuencas del Grijalva y el Usumacinta; se trata de grandes mesetas con alturas medias que van de los 1,600 a los 2,100 msnm. La depresión central de Chiapas presenta altitudes en el sureste hasta de 700 msnm, descendiendo hacia el noroeste a 500 msnm. El relieve lo constituye una meseta asociada con cañadas, que da lugar a valles amplios como el del Alto Grijalva. La sierra Norte ocupa una extensa porción del estado de Chiapas y una parte del de Tabasco; sus altas precipitaciones y su declive hacia el Golfo de México han dado lugar a la formación de extensos depósitos estructurales que han recibido sedimentos desde fines del Paleozoico o principios del Mesozoico. Finalmente, hacia el norte, la Llanura Costera del Golfo, de topografía plana y sujeta a una intensa erosión regresiva, forma una amplia llanura aluvial y de barrera (West *et al.*, 1976).

5.2 Composición del medio natural

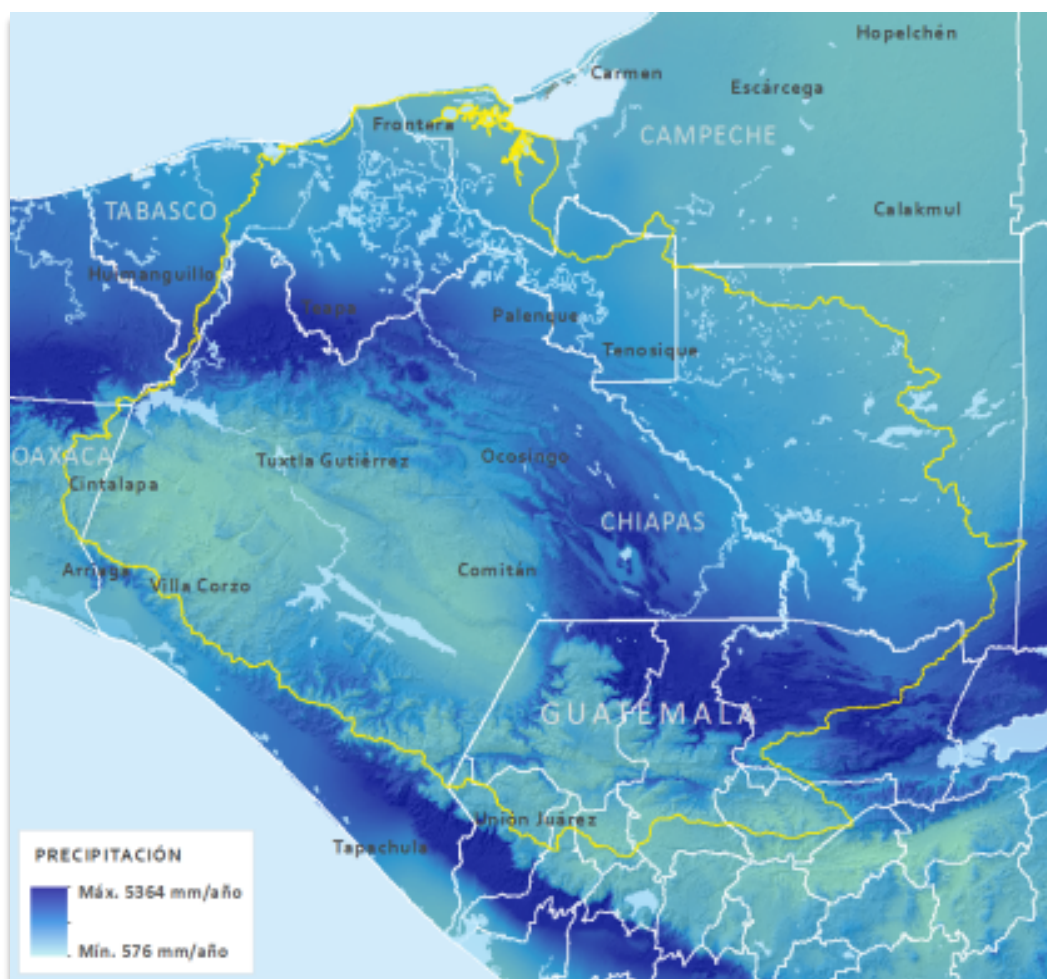
La ubicación geográfica de la cuenca es un factor importante para la existencia de abundantes lluvias la mayor parte del año. La invasión de masas de aire frío del norte y húmedos tropicales del Atlántico y el Pacífico provocan la mayoría de las precipitaciones anuales en la región. La temporada de lluvias de junio a marzo, representa el 83% de los días al año. La precipitación media anual es de 2,147 mm, 2.6 veces el promedio nacional, variando de la costa del Golfo de México de 700 a 4,000 mm para las estribaciones de la Sierra Madre de Chiapas.

Junto con gran parte de Tabasco, las laderas de la subcuenca alta del río Chixoy, en Guatemala, alcanzan los índices más altos, llegando a ser hasta de 4,500 mm. La temporada de lluvias es variada según la zona, siendo en general de mayo a octubre en la parte alta del Grijalva, de mayo a febrero en su porción baja, y de mayo a diciembre en la cuenca del río Usumacinta y en la costa de Tabasco. Como puede observarse, la porción baja del río Grijalva es la que tiene un período de lluvias que abarca la mayor parte del año y comprende tres estaciones: verano, otoño e invierno. Cuando el calendario marca otoño e invierno, empiezan a soplar los Nortes, que se traducen en prolongadas lluvias, menos impetuosas que las del verano, y que pueden durar varias semanas. Ríos y lagunas alcanzan su máximo nivel entre septiembre y noviembre, cuando se producen las inundaciones, donde el drenaje urbano y agrícola es insuficiente debido a las condiciones topográficas naturales, lo que causa graves daños a la población y destrucción de la infraestructura hidráulica (Mapa 5.3).

La cuenca tiene una temperatura media anual de 24°C, cuyo valor máximo ha llegado a los 41°C y la mínima a 7°C. Se ha observado que existe un gradiente de temperatura que aumenta de forma concéntrica y progresiva desde la parte central de Chiapas (San Cristóbal de las Casas) hacia el Golfo de México, registrándose en las Costas de Tabasco las temperaturas más altas. Como consecuencia, el promedio de la evaporación media anual es de 990.33 mm; con ello, se establece un gradiente de climas cálidos y semicálidos húmedos con influencia marina en la zona norte y en la parte central de la región (Mapa 5.4).

En la cuenca Grijalva-Usumacinta se distribuyen distintas unidades edáficas, entre las que destacan: vertisol eutrico, luvisol crómico, nitisol háplico, arenosol cámbico, luvisol gleyico, nitosol eutrico, litosol, vertisol crómico y acrisol húmico (CONABIO, 1995; MARN-URL/IARNA-PNUMA, 2009). Resultado de su configuración fisiográfica, en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta se hacen presentes diversos ecosistemas que reflejan la variedad geomorfológica, topográfica, edáfica y climática de la zona. De esta diversidad fisiográfica se desprenden los principales tipos de vegetación: en las llanuras costeras del Golfo de México están presentes los manglares, humedales y

Mapa 5.3. Precipitación media anual en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.

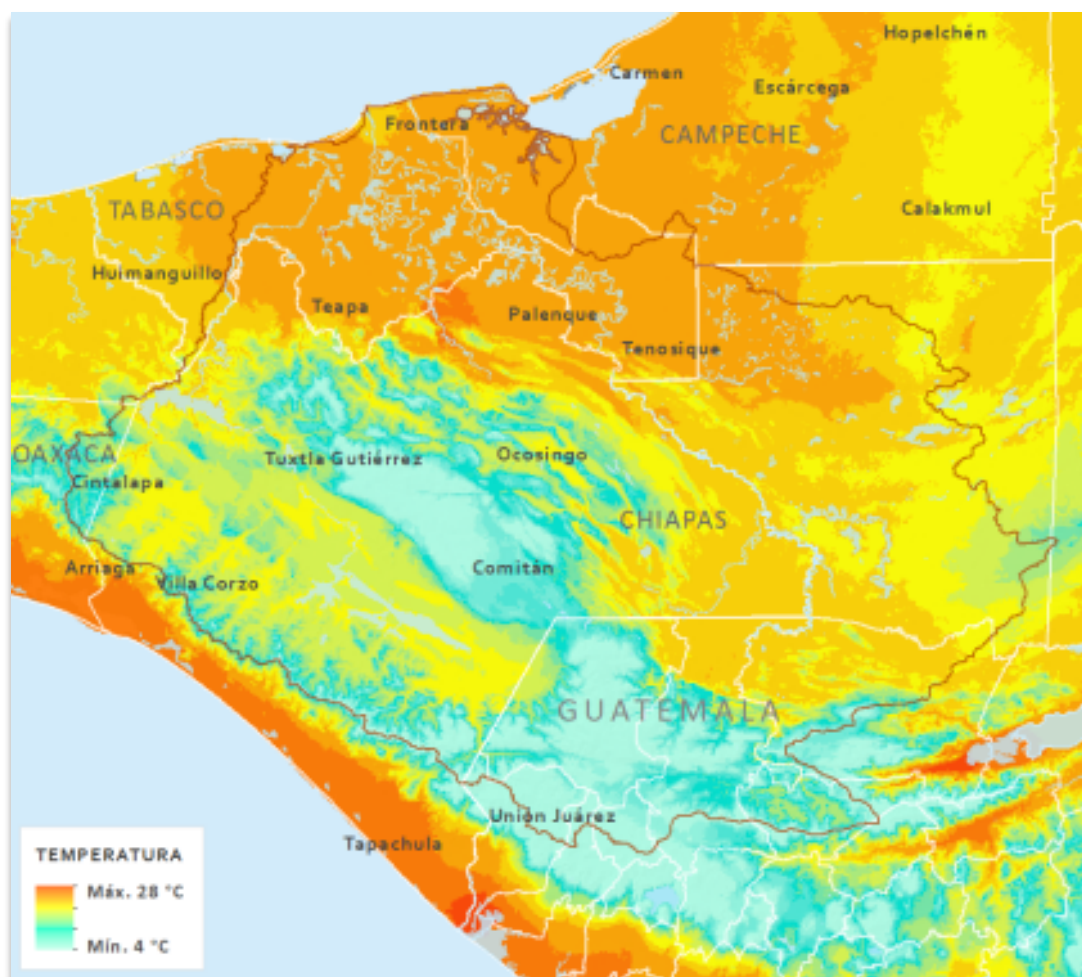


bosques tropicales caracterizados por relictos de selva alta; hacia el Petén los cerros y lomeríos con selva subperennifolia alta y mediana; en la Lacandona, colinas con selva perennifolia alta y mediana; en los altos de Chiapas, bosques mixtos, de coníferas y encinos; en la depresión central de Chiapas, selva baja caducifolia subcaducifolia mediana; y a lo largo de la sierra madre de Chiapas, desde los Chimalapas en Oaxaca hasta los Cuchumatanes en Guatemala, bosques de coníferas, encinos y bosques mixtos.

5.3 Dinámica hídrica

La disponibilidad de aguas superficiales de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta es la más abundante del país. El volumen anual de escurrimiento (99,642.52 hm³)

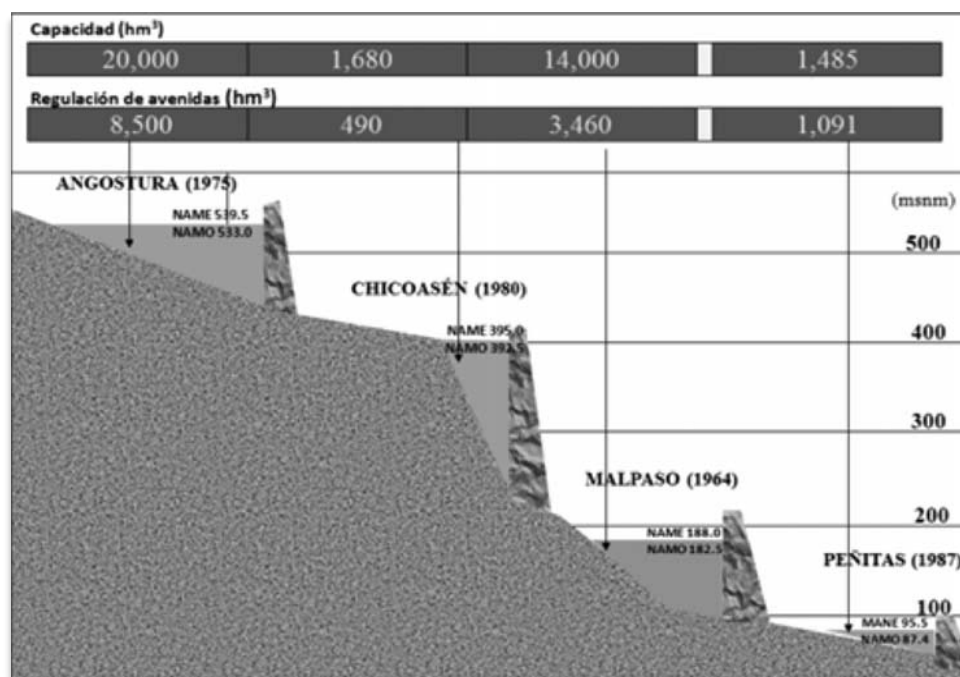
Mapa 5.4. Temperatura media anual en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



representa más del 30% de los escurrimientos totales del país (DOF, 2013). Por lo que respecta a los cuerpos de agua superficiales, existen en la región un total de 404 cuerpos de agua entre lagos, lagunas, presas y más de 40 corrientes principales, que en conjunto suman una superficie de 804 km², incluyendo los cuatro vasos de almacenamiento ubicados en el río Grijalva, el sistema de presas de almacenamiento más importantes del país, que en conjunto generan más del 40% de la capacidad hidroeléctrica instalada en el país (Figura 5.1). En cuanto a aguas subterráneas, existen 19 acuíferos identificados en la región; la principal zona de recarga se encuentra en la Sierra de Chiapas y en las épocas de lluvia la realimentación se lleva a cabo por infiltración vertical o por las numerosas corrientes superficiales (CONAGUA, 2011).

La abundancia de sus escurrimientos superficiales está marcada por la estacionalidad de las lluvias, lo abrupto de la topografía en las partes altas y sus extensas planicies,

Figura 5.1. Diagrama esquemático del sistema de presas del río Grijalva.



Fuente: Muñoz-Arriola *et al.*, 2011.

los macizos forestales en sus áreas de drenaje, las actividades humanas y sus acciones de regulación y control para poder aprovechar el recurso y eliminar los efectos nocivos de su exceso. Las corrientes principales de la cuenca son las que dan origen a los ríos Grijalva y Usumacinta. En el primero pueden reconocerse tres corrientes importantes por sus características hídricas, su manejo y su ubicación en torno de la ciudad de Villahermosa. En contraste, el río Usumacinta, tiene sus principales tributarios en nuestro país en el corazón de la Selva Lacandona, aunque recoge las aguas de diversas fuentes, principalmente de Guatemala. A partir de su intersección con el río Chixoy, el Usumacinta puede considerarse una sola corriente con características muy homogéneas de conformación a lo largo de rebuscados meandros y un extenso sistema lagunar que lo acompaña hasta su salida en el Golfo de México (Mapa 5.5).

Junto con el río Grijalva se reconocen dos cuencas más: Ríos de la Sierra y Tulijá, para completar las cuatro subcuencas en que se suele dividir el sistema Grijalva-Usumacinta (Tamayo, 1949; Muñoz-Arriola *et al.*, 2011), y que en esta sección van a ser la base para la regionalización propuesta a lo largo de todo este trabajo (Mapa 5.6). Si bien es cierto que esta subdivisión obedece a la conformación de corrientes que confluyen en la planicie tabasqueña, y que Tamayo (1949) los describe ampliamente como los ríos chiapaneco-tabasqueño, su conformación obedece también a la configuración del

[illegible]

5.4 Uso de suelo y vegetación

Para 2010, la cuenca de los ríos Grijalva-Usumacinta contaba con una extensión de 8.8 millones de ha de bosques de acuerdo con los resultados del MODIS *Vegetation Continuous Fields* (VCF), con una altura promedio de 18.4 metros (Simard *et al.*, 2011) y un porcentaje de cobertura arbórea de 63.9% distribuida sobre diferentes tipos de vegetación (Townshend *et al.*, 2011). Esta distribución se localiza principalmente en la cuenca del río Usumacinta, tanto en la Selva Lacandona en México como en la Sierra de los Cuchumatanes y el Petén en Guatemala.

Las cuencas de los ríos de la Sierra y Tulijá presentan una cobertura cercana al 50% pero con una alta fragmentación; mientras que la cuenca del río Grijalva, conserva

Mapa 5.6. Subcuencas del sistema Grijalva-Usumacinta.



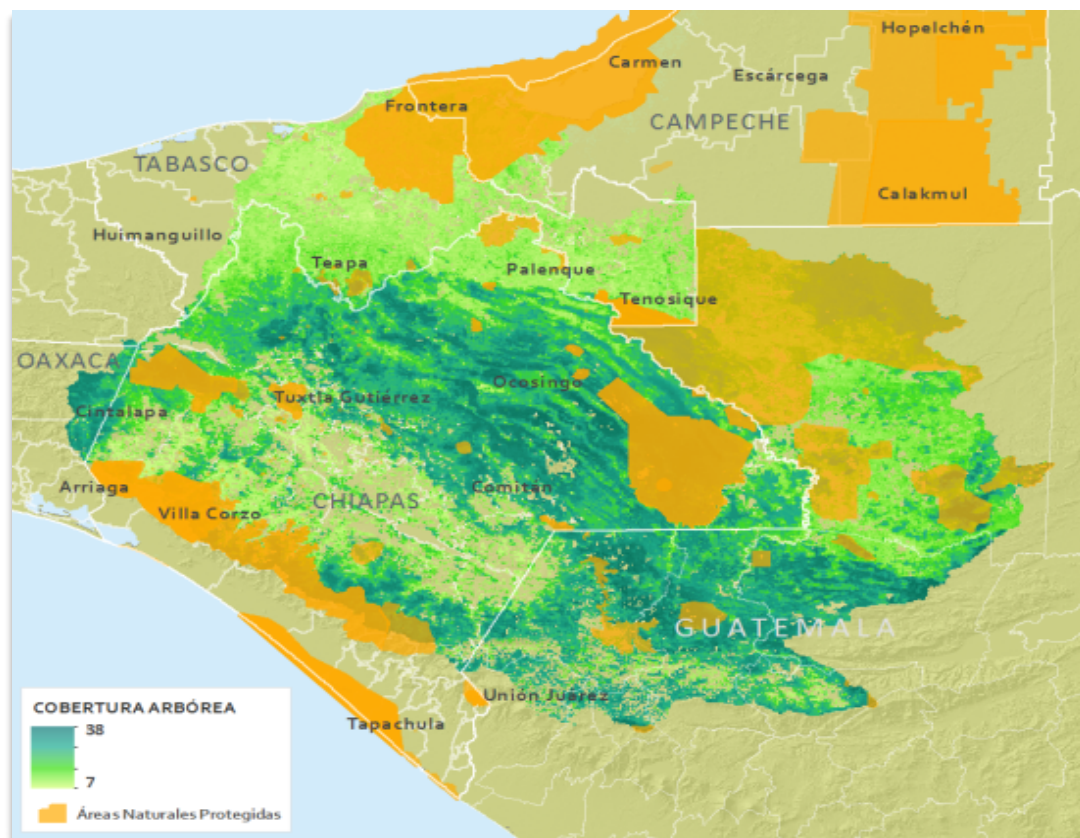
únicamente cobertura en las partes altas de la cuenca, tanto en México como en Guatemala. De acuerdo con los datos del MODIS VCF (colección 5, versión 1) y aproximándose con la definición de Bosque de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (FRA, 2010), los resultados del análisis de cambio para el periodo 2000-2010 del Sistema de Información Geográfica (SIG), sugieren que se perdieron en la cuenca 1,587,276.1 ha de bosque, lo que representa una tasa de deforestación anual de 1.6%. Lo anterior significa que mientras para el año 2000 la cobertura arbórea en la cuenca representaba el 78.4%, para el 2010 representaba el 66.4% de la misma. Lo anterior se traduce, para el caso mexicano, en una pérdida promedio anual de 84,919.7 ha de bosque por deforestación para la primera década del nuevo milenio, mientras que para Guatemala, la pérdida promedio anual es de 73807.9 ha.

No obstante, la cuenca cuenta aún con importantes recursos naturales conservados, prueba de ello son las alrededor de 3.5 millones de ha declaradas como Áreas Naturales Protegidas (ANPs), de las cuales, 1.8 millones se localizan en México. Lo anterior

representa el 21.3% del territorio en México de la cuenca, casi el doble del promedio nacional; de ese porcentaje, el 83.3% corresponde a ANPs federales y el resto a estatales y municipales, siendo estas últimas una proporción muy insignificante, asociada principalmente a parques urbanos (Mapa 5.7).

Si bien es cierto que puede asociarse una alta presencia de ANPs en la cuenca, existen aún grandes extensiones de bosques bien preservados sin un esquema de conservación asociado, principalmente en la parte alta de las cuencas del río de la Sierra, Tulijáh y Usumacinta, en México, lo que sin duda representa una oportunidad de conservación asociada al mantenimiento de servicios ambientales hidrológicos. Pero es alrededor de las ANPs presentes que se identifican grandes presiones relacionadas al cambio de uso de suelo. Para la porción mexicana de la cuenca Grijalva-Usumacinta, existen diversos trabajos y análisis que documentan su tendencia hacia la disminución de la cobertura vegetal natural que, en mayor o menor medida, sucede como una relación directa de las actividades antropogénicas presentes en la cuenca (Cuevas *et al.*, 2010; Kolb y Galicia, 2012).

Mapa 5.7. Cobertura arbórea y ANPs en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



Basados en el análisis de las series de uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (Series II, III y IV) para la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, Kolb y Galicia (2012) enfatizan, por un lado, la pérdida de cobertura primaria y, por el otro, el aumento de pastizales inducidos y agricultura. En 1993, la porción mexicana de la cuenca Grijalva-Usumacinta tenía una cubierta de vegetación primaria del 36%; para el final del periodo, más del 9% de la vegetación primaria se perdió. Sin embargo, los pastos fueron el uso más extendido de la tierra (30%) en el periodo de estudio, mientras que la agricultura mostró un aumento en la agricultura de riego (16%) y en el caso de la agricultura permanente una disminución (*ibid.*). Por otro lado, Cuevas *et al.* (2010) confirman una tendencia de expansión de pastos cultivados e inducidos, asociados principalmente a la ganadería, seguida por la agricultura y la urbanización que sucede desde la década de los setentas (Carta de uso del suelo y vegetación, Serie I del INEGI, 1976).

A partir del análisis de la actual cartografía de “Uso del Suelo y Vegetación” a escala 1:250,000, producidas por el INEGI (Serie II, 1993; Serie III, 2002; y Serie IV, 2007) se observa que aunque la pérdida de bosque muestra una tasa de deforestación de 0.9%, si se examina sólo la pérdida de bosque primario, ésta se eleva a una tasa de 2.97%, lo que pone principal énfasis en la cantidad de bosque degradado que caracteriza la porción mexicana de la cuenca (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Desagregación de bosque primario y secundario (hectáreas), 1993-2007.

Tipo de bosque	Serie II (1993) [ha]	Serie III (2002) [ha]	Serie IV (2007) [ha]
Bosque primario	2,282,140.1	1,660,030.1	1,494,670.9
Bosque secundario	2,163,365.3	2,380,994.5	2,397,089.6
Total	4,445,505.5	4,041,024.6	3,891,760.5

Mientras que para 1993, más del 50% del total del bosque estaba en condición primario, al 2007 ese porcentaje apenas representaba el 38%. Lo anterior pone de manifiesto que, aunque la cuenca mantiene un alto capital natural conservado mediante esquemas tradicionales de ANPs, éste está amenazado por procesos de expansión de la frontera agropecuaria asociados, principalmente, a la degradación y pérdida de cobertura vegetal primaria.

5.4.1 Escenarios futuros sobre patrones de cobertura forestal

Este proyecto desarrolló escenarios futuros sobre los patrones de la cobertura forestal para el área de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta para los periodos 2015-

2039 y 2030-2050. Los escenarios utilizan dos series de datos sobre cobertura forestal, uno para construir tendencias y otro con medidas de conservación. El primero, para el periodo 2015-2039, utiliza datos sobre cobertura forestal de los años 2000 y 2010, usando el análisis del VCF de MODIS. Este escenario se puede interpretar como uno de tendencias, ya que utiliza los últimos datos para proyectar el futuro. El segundo escenario, para el periodo 2030-2050, utilizó el análisis de tendencias de tasas de deforestación basado en las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación Series II, III y IV del INEGI; éste puede interpretarse como un escenario donde se dan cambios relacionados con la implementación de prácticas de conservación de la cobertura forestal, ya que el modelo muestra un comportamiento muy asintótico, con menores cambios en la cobertura forestal. La tasa de deforestación en los escenarios se calcularon por ventanas de análisis a través del modelo de agotamiento exponencial. La metodología se presenta en el Anexo 2.

Los resultados calculan una tasa de deforestación por ventana de aproximadamente 10 ha y estiman escenarios futuros de la cobertura forestal en pixeles de 250 m. A continuación se presentan los resultados.

Escenario A: Cobertura forestal 2015-2039

El escenario para el periodo 2015-2039 utiliza como base los datos del VCF de MODIS de los años 2000 y 2010. La definición de cobertura arbórea se tomó en un rango superior al 30%. A partir de esta definición, se estimaron las tasas de deforestación para las coberturas de los años del 2000 al 2010, obteniéndose un valor promedio de 0.83% por cada 10 ha. A partir de estos resultados, se generaron escenarios para el 2015 y el 2039, empleando el modelo de agotamiento exponencial (Mapa 5.8).

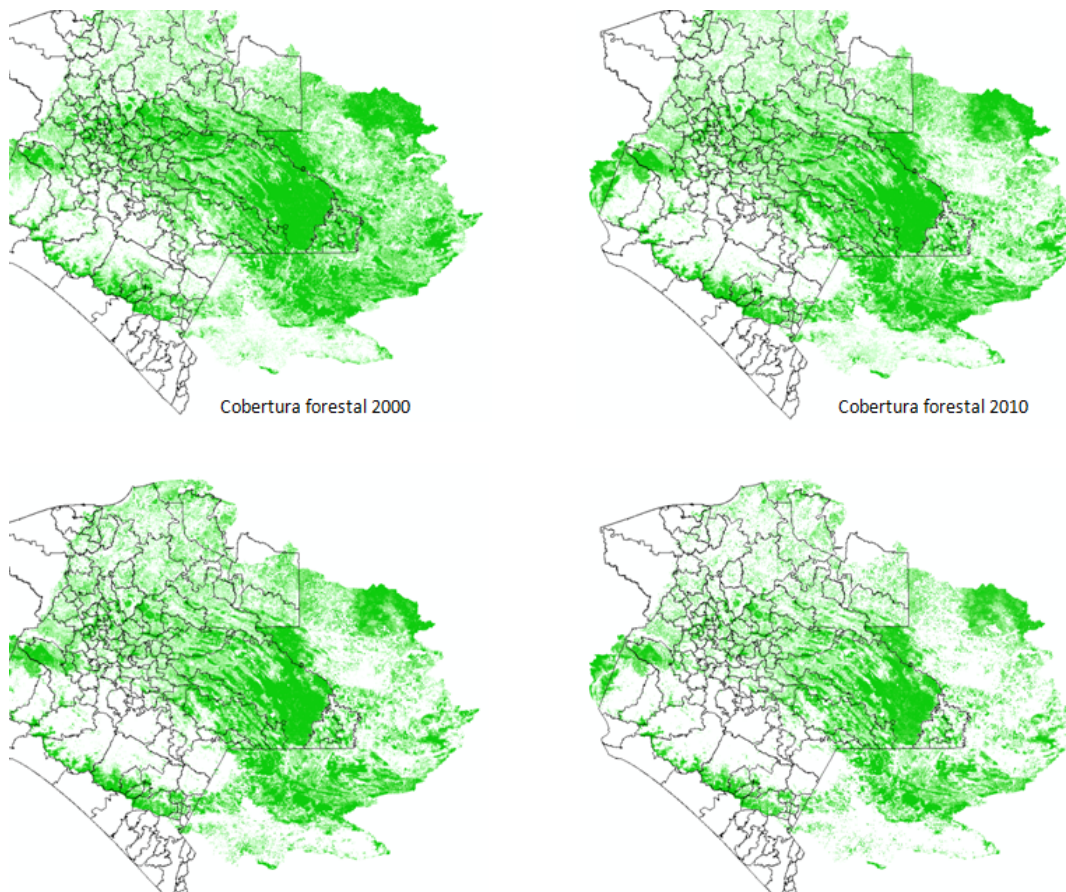
Los resultados muestran que para 2015 el 62% del área de la cuenca estaría cubierta de cobertura forestal, y para el año 2039 el valor descendería al 46% (Figura 5.2). No obstante, para ese mismo periodo, el bosque primario prácticamente se mantendría estable, por lo que las pérdidas de cobertura forestal ocurrirían sobre bosques secundarios.

El Cuadro 5.2 muestra las estimaciones obtenidas para bosques primarios y secundarios de los años evaluados.

Escenario B: Cobertura forestal 2030-2050

El escenario de cobertura forestal para el periodo 2030-2050 utilizó el conjunto de datos vectoriales de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación para las Series II, III y IV para la porción mexicana de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta. Para ello, las categorías de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación se homogenizaron de acuerdo

Mapa 5.8. Escenarios futuros de cobertura forestal 2015-2039.

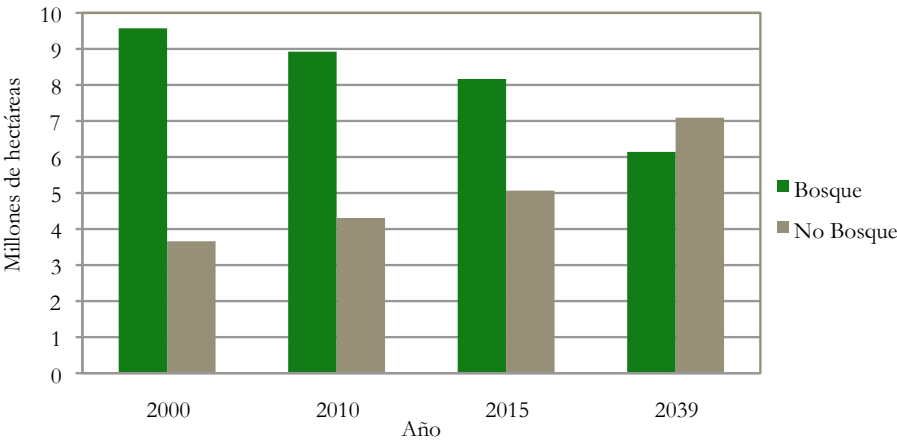


Nota: Las diferentes tonalidades de verde se relacionan con la densidad de la cobertura, correspondiendo el verde oscuro a una mayor densidad y el verde claro a una menor.

con la metodología que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) realiza para los reportes de la evaluación de recursos forestales de la FAO (FAO, 2010). Se obtuvieron tasas de deforestación por ventanas para los periodos 1993-2002 y 2002-2007 para obtener un promedio de deforestación móvil 1993-2007 (Mapa 5.9).

A partir de lo anterior, y tomando como año base el mapa de cobertura forestal 2007, se generaron escenarios para los años 2030 y 2050, obteniéndose los resultados mostrados en el Mapa 5.10. Con estos resultados se menciona que, para el periodo inicial de 1993-2007, la cobertura forestal disminuyó un 5% y pasó de representar el 43% al 38% del paisaje; mientras que para el periodo simulado de 2030 a 2050, apenas disminuiría un 1.85%. Esto puede ser explicado en tanto que el modelo de agotamiento exponencial empleado muestra un comportamiento asintótico para un periodo de tiempo tan prolongado.

Figura 5.2. Cambios en la cobertura forestal de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta 2000, 2010, 2015 y 2039.

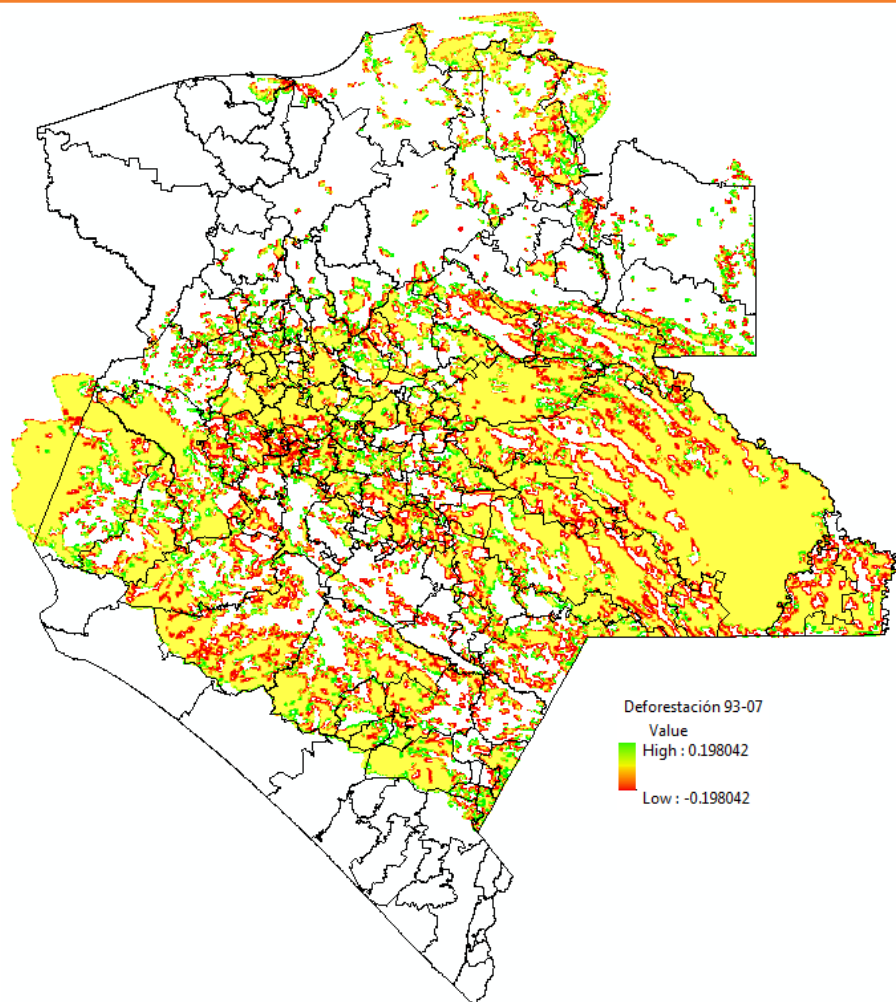


Cuadro 5.2. Cobertura forestal 2000, 2010, 2015 y 2039.

Año evaluado	Categoría	Extensión [ha]
2000	Bosque	9,571,650.4
	Bosque primario	3,462,234.1
	Bosque secundario	6,109,416.3
	No bosque	3,660,413.1
2010	Bosque	8,923,432.6
	Bosque primario	2,909,413.5
	Bosque secundario	6,014,019.1
	No bosque	4,308,630.9
2015	Bosque	8,165,337.7
	Bosque primario	3,264,029.8
	Bosque secundario	4,901,307.9
	No bosque	5,066,725.7
2039	Bosque	6,141,367.0
	Bosque primario	3,194,036.3
	Bosque secundario	2,947,330.8
	No bosque	7,090,696.4

Los resultados muestran entre el 2007 y el 2050 una posible pérdida de 13% de cobertura forestal, lo que representa una disminución significativa en extensión. En 2007, la cobertura arbórea muestra una extensión de 3.25 millones de hectáreas y una densidad de cobertura forestal del 49%. En 2050, los resultados señalan que la extensión

Mapa 5.9. Ventanas móviles de deforestación para el periodo de tiempo 1993-2007.



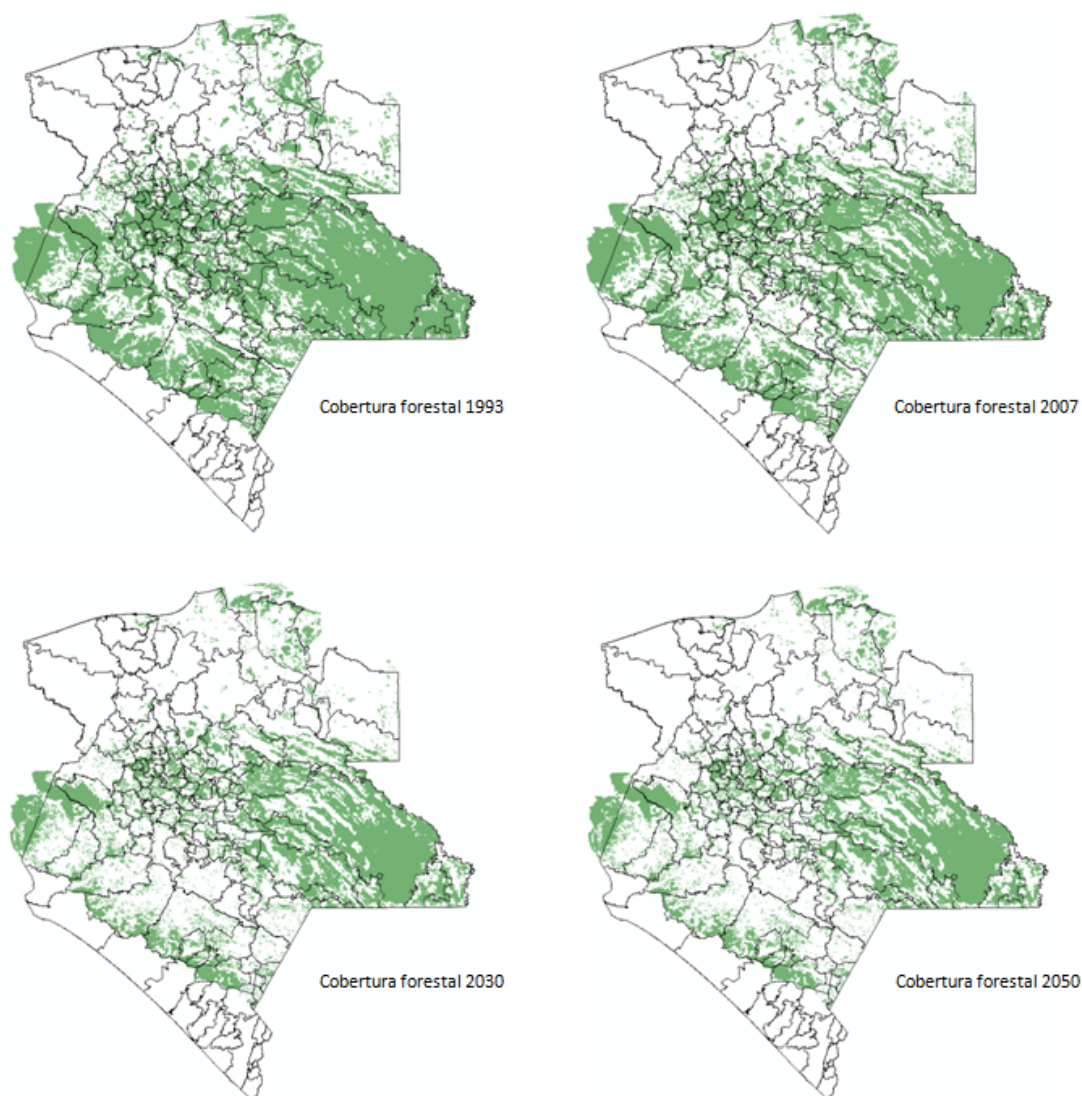
Nota: Mapa obtenido a partir del conjunto de datos vectoriales de las Series de Uso de Suelo y Vegetación II, III y IV del INEGI.

disminuirá hasta los 2.1 millones de hectáreas, pero que la densidad de cobertura forestal aumentará a 59%. Esto está principalmente asociado con el mantenimiento de las ANPs.

Reflexiones

Los escenarios toman datos de tendencias para su evaluación; sin embargo, el que abarca el periodo 2030-2050 puede interpretarse como un escenario donde se dan cambios relacionados con la implementación de prácticas de conservación de la cobertura forestal, ya que el modelo muestra un comportamiento muy asintótico con menores cambios en la cobertura forestal.

Mapa 5.10. Escenarios futuros de cobertura forestal 2030-2050.

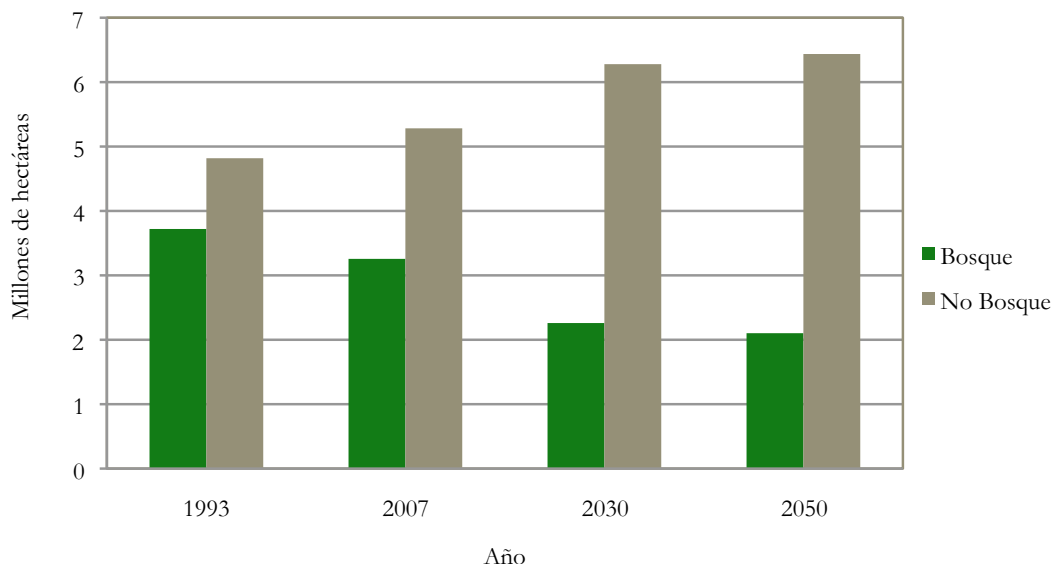


Elaborado a partir de datos de la Series de Uso de Suelo y Vegetación para las series III y IV de INEGI para los periodos 1993-2002 y 2002-2007.

Nota: La tonalidad verde representa la cobertura forestal.

A pesar de ello, los dos escenarios muestran disminuciones significativas de la cobertura forestal en la región. Asimismo, muestran cómo las ANPs juegan un papel importante en la conservación de la cobertura forestal debido al menor cambio que se da en el bosque primario, ubicado principalmente dentro de estas áreas.

Figura 5.3. Cambios en la cobertura forestal de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta 1993, 2007, 2030 y 2050.



La posible pérdida de cobertura forestal tendría repercusiones en la resiliencia de la cuenca ante el cambio climático, afectando tanto el potencial escurrimiento, como disminuyendo la funcionalidad del bosque como barrera natural ante posibles lluvias torrenciales y los consecuentes impactos por inundaciones. La expansión de las ANPs y el desarrollo de corredores, junto con el apoyo para el uso sustentable de los recursos forestales, pueden jugar un papel esencial para mantener e, incluso, incrementar la resiliencia en la región.

5.4.2 Degradación de la vegetación y suelos

El proceso de degradación de la vegetación se produce cuando se altera la cubierta vegetal original sin llegar a su total remoción, permaneciendo sólo ciertas especies o comunidades vegetales. Este proceso, si bien no tiene un impacto tan alto como la pérdida total, produce cambios que alteran la estructura de los ecosistemas y, con ella, los bienes y servicios que la vegetación, en particular, y la cuenca, en general, ofrecen (Cuevas *et al.*, 2010).

Usando técnicas de análisis espacial en el SIG, se calcularon los totales de bosque para las unidades hidrológicas de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, así como las cantidades de bosques secundarios, de los cuales se observa que la unidad hidrológica (UH) del Alto Grijalva es la que mayor deforestación y degradación ha sufrido, misma

situación que se observa en la UH Lacantún-Chixoy. En las dos unidades, la expansión de los pastos cultivados y, en el caso de las partes bajas los pastizales inducidos, representan el principal motor de cambio de la vegetación primaria, lo que hace suponer que la alteración de zonas de esta vegetación para la introducción de ganado ha sido el factor desencadenante asociado al proceso de degradación (Cuadro 5.3 y 5.4).

Cuadro 5.3. Total de bosque por UH.

Unidad Hidrográfica	Serie II (1993) [ha]	Serie III (2002) [ha]	Serie IV (2007) [ha]
Alto Grijalva	1,847,530.6	1,668,922.1	1,608,795.8
Bajo Grijalva	30,102.3	29,541.9	25,190.6
Lacantún-Chixoy	1,422,883.8	1,257,535.0	1,201,180.4
Usumacinta	559,024.5	525,143.1	523,110.0
Ríos de la Sierra	288,744.0	271,055.3	262,817.1
Tulijáh	297,153.8	288,760.7	270,523.1

Cuadro 5.4. Bosque secundario por UH.

Unidad Hidrográfica	Serie II (1993) [ha]	Serie III (2002) [ha]	Serie IV (2007) [ha]
Alto Grijalva	988,246.9	1,107,281.6	1,121,891.8
Bajo Grijalva	12,001.4	11,803.0	12,340.5
Lacantún-Chixoy	556,135.2	630,500.0	610,885.3
Usumacinta	187,656.8	202,212.3	220,484.2
Ríos de la Sierra	211,784.3	206,610.8	213,569.2
Tulijáh	207,539.9	222,585.8	217,595.0

Un factor importante relacionado con la degradación de los suelos es la erosión que afecta tanto a la productividad de los suelos como a las obras de infraestructura (presas, canales, sistemas de evacuación de aguas pluviales, etc.). Aunque la erosión de los suelos está ligada a factores naturales (clima, litología, pendiente, vegetación, etc.), el hombre puede modificar muchas de las variables que intervienen en los procesos de erosión, agudizándolos en unos casos e, incluso, creándolos en otros (Romero Díaz *et al.*, 1998). El mal uso del suelo, la falta de prácticas de conservación del mismo, el desarrollo de cultivos agrícolas en laderas con pendientes altas y suelos altamente erosionables, y la presencia de suelos desnudos, combinado con la alta intensidad de las lluvias causada por tormentas tropicales, agrava la problemática de erosión. Asimismo, las acciones provocadas en las partes altas de las cuencas: deforestación, agricultura migratoria y erosión, afectan directamente las disponibilidades futuras de

agua, provocan la rápida sedimentación de los embalses y canales, y de manera general, perturban el ciclo hidrológico.

Para tener una perspectiva de los problemas de erosión a nivel del área de las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta se elaboró una estimación utilizando los factores más importantes que contribuyen al proceso, que son la cobertura de la tierra, pendiente del terreno e intensidad de la lluvia.

A partir de diversas capas digitales de cobertura del suelo, pendientes y precipitación se desarrolló en un SIG un índice de erosión por píxel, cuya agregación resulta en un mapa de erosión potencial para la cuenca. El índice de erosión se determina al multiplicar para cada píxel la pendiente y la intensidad de precipitación, con un factor de erosión asignado a cada categoría de uso de la tierra. El factor de erosión que se utilizó fue el factor C de cobertura del suelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). La pendiente se calculó en porcentaje a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) para la misma área de estudio. El índice de erosión se define entonces como:

$$\text{Índice de erosión} = \text{Pendiente \%} * \text{Factor C}$$

Donde el *Factor C* para diferentes usos de suelo se muestran en el Cuadro 5.5.

En el caso de la información para uso de suelo y vegetación, se utilizó la cartografía del conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie IV del INEGI (2007), a escala de 1:250,000, cuya elaboración consistió en fotointerpretación de imágenes SPOT, así como de trabajo de campo cualitativo. En el caso del MDE se obtiene a partir de los datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA (2000).

Cuadro 5.5. Valores de coberturas vegetales.

Vegetación y Uso de Suelo	Factor C
Bosque primario	0.001
Bosque secundario	0.01
Otros tipos de vegetación	0.03
Agricultura de riego	0.375
Agricultura de temporal	0.1
Pastizales cultivados	0.05
Asentamientos humanos	0.5
Cuerpos de agua	0
Desprovisto de vegetación	1

Modificadas de Wischmeier *et al.*, 1978.

Resultados

La utilización del MDE tiene como resultado un mapa de pendiente que expresa en porcentaje cambios del crecimiento de ésta (tasa de cambio máximo en el valor z desde cada celda). Para este estudio se obtuvieron valores que van del 0% a 500.6%, donde, por ejemplo, una pendiente de 30° corresponde a una pendiente con 58%, y una de 76° a una de 373% (Mapa 5.11).

Para el caso de la precipitación, se empleó la variable bioclimática de estacionalidad de la precipitación (CV), entendida como una medida de la variación en los totales mensuales de precipitación en el transcurso del año. Este índice es la razón entre la desviación estándar de la precipitación total mensual (PPT) y la PPT media (también conocida como el coeficiente de variación) y se expresa como un porcentaje (Mapa 5.12).

$$CV = \frac{\text{std } PPT_1, \dots, PPT_{12}}{PPT_{12} + 1} \times 100$$

Para obtener esta variable, primero se calculó la desviación estándar de los 12 datos de precipitación mensual. Después, se dividió el resultado por el valor medio mensual de la precipitación. El denominador 1 se añade para evitar valores de CV²¹ atípicos, donde la precipitación media es inferior a 1. Finalmente, se multiplica el resultado por 100 para obtener un porcentaje, de tal manera que entre mayor sea el porcentaje, mayor es la variabilidad de la precipitación.

El Mapa 5.12 puede interpretarse como la variabilidad de las precipitaciones, ya que proporciona un porcentaje de variabilidad de la precipitación, donde porcentajes mayores representan una mayor variabilidad de las precipitaciones.

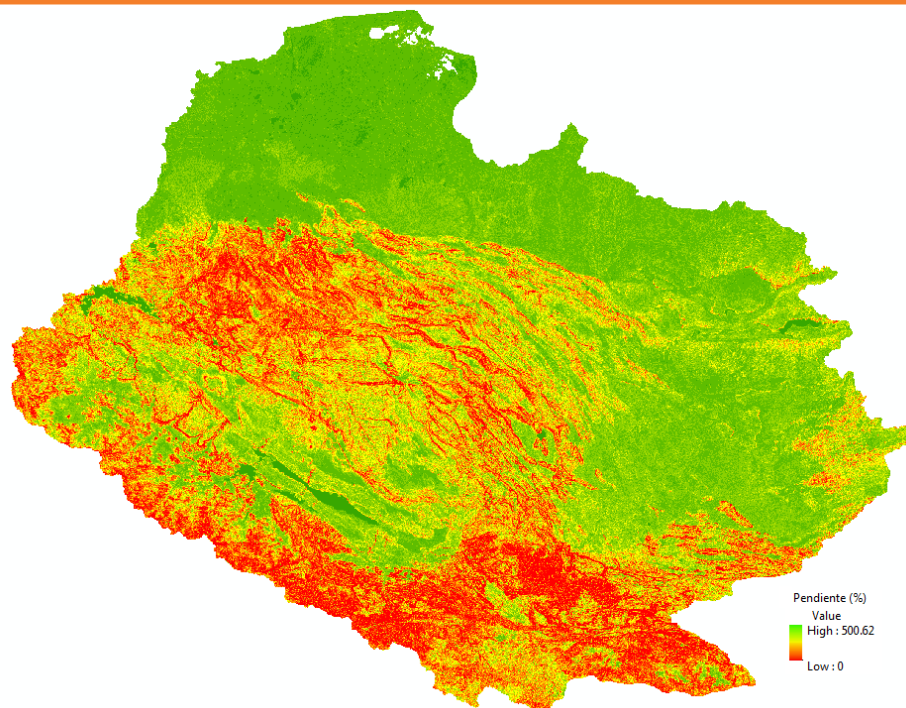
A partir del mapa de Uso de Suelo y Vegetación clasificado por el factor C, la pendiente (%) y la variabilidad de precipitación se obtiene el mapa del Índice de Erosión Potencial (Mapa 5.13). Los Mapas 5.13, 5.14 y 5.15 permiten observar con mayor detalle el índice de erosión potencial en el contexto de la cuenca en su conjunto, así como de manera separada para la cuenca del Grijalva y la del Usumacinta.

5.5 Propuesta de unidades hidrográficas

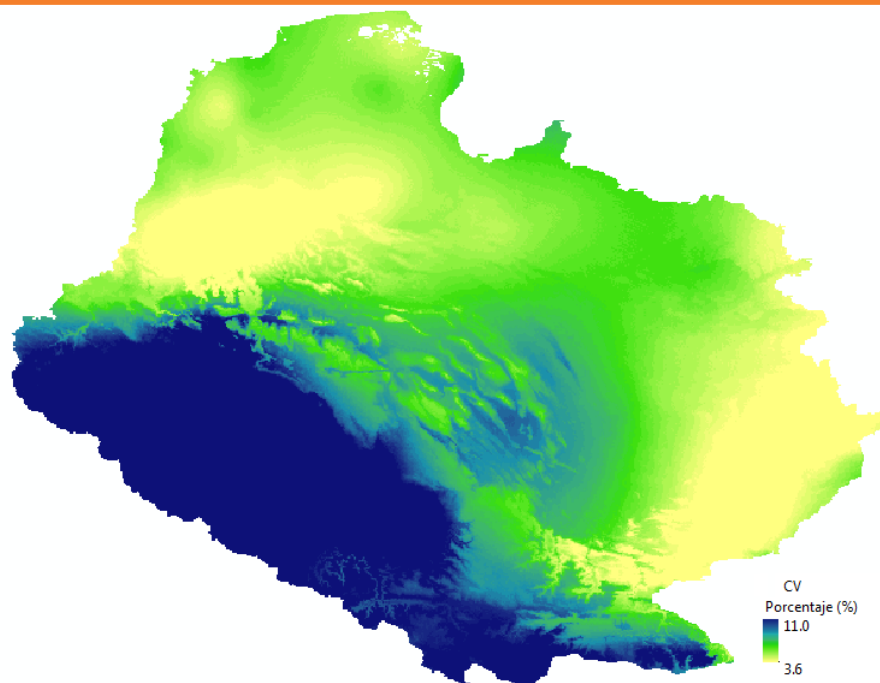
El funcionamiento eco-hidrológico de una cuenca se sustenta en un equilibrio frágil y dinámico, producto de la interacción entre sus componentes, que incluyen las acciones

²¹ El CV captura la dispersión en términos relativos porque la desviación estándar puede producir dos valores similares, mientras que la media puede ser diferente. Sin embargo, si la varianza es la misma, un área con una media pequeña es distinguible de otras áreas con varianza similar, pero con una media más grande.

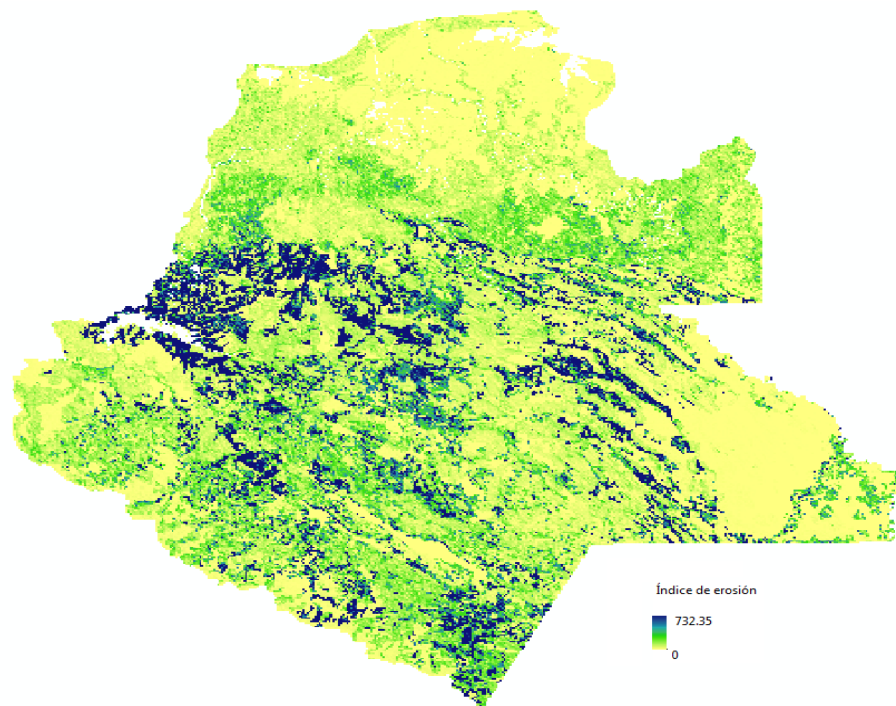
Mapa 5.11. Mapa de pendiente (%) para la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



Mapa 5.12. Mapa de la estacionalidad de la precipitación (CV) expresada en porcentaje.



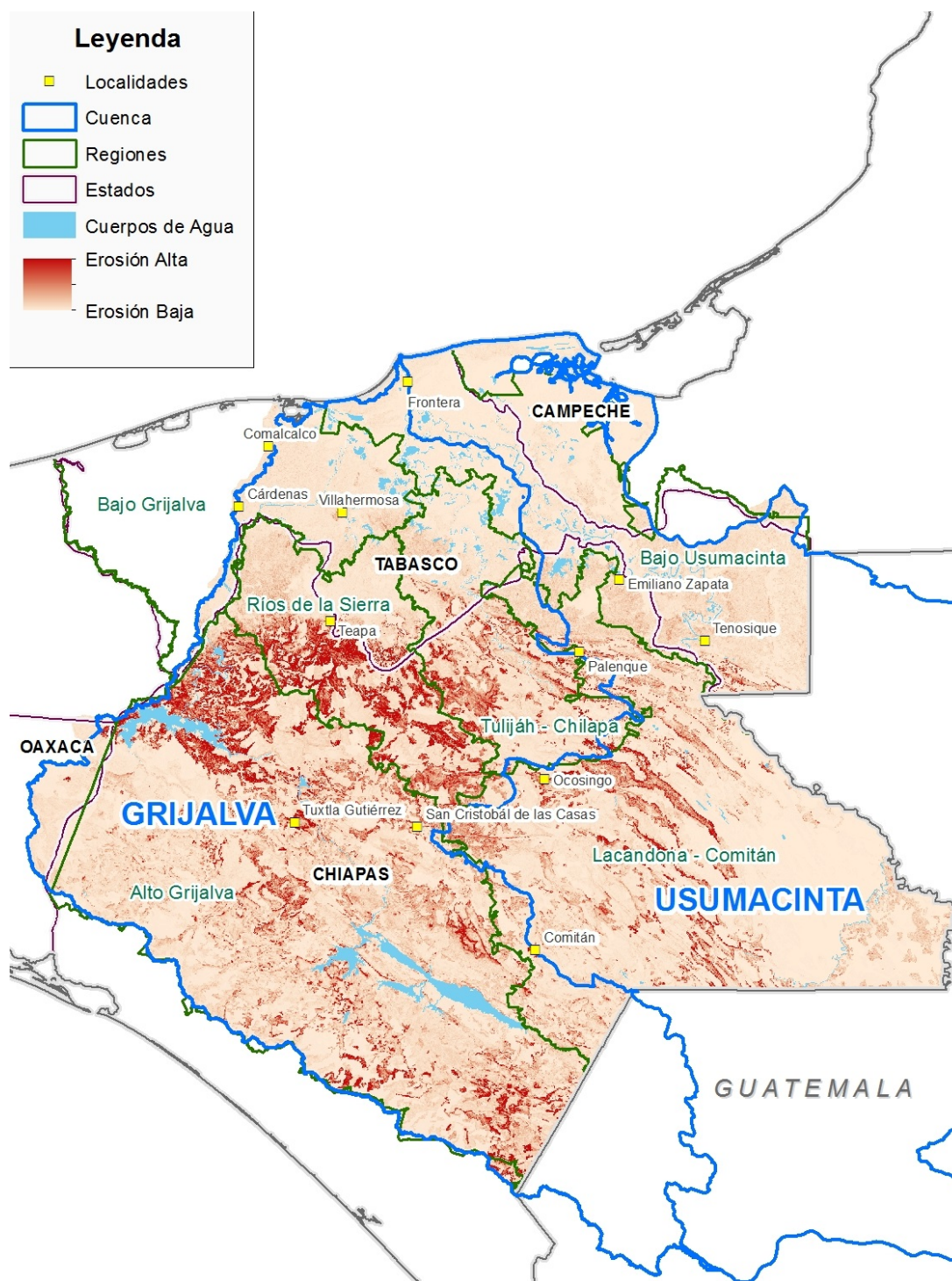
Mapa 5.13. Índice de Erosión Potencial para la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



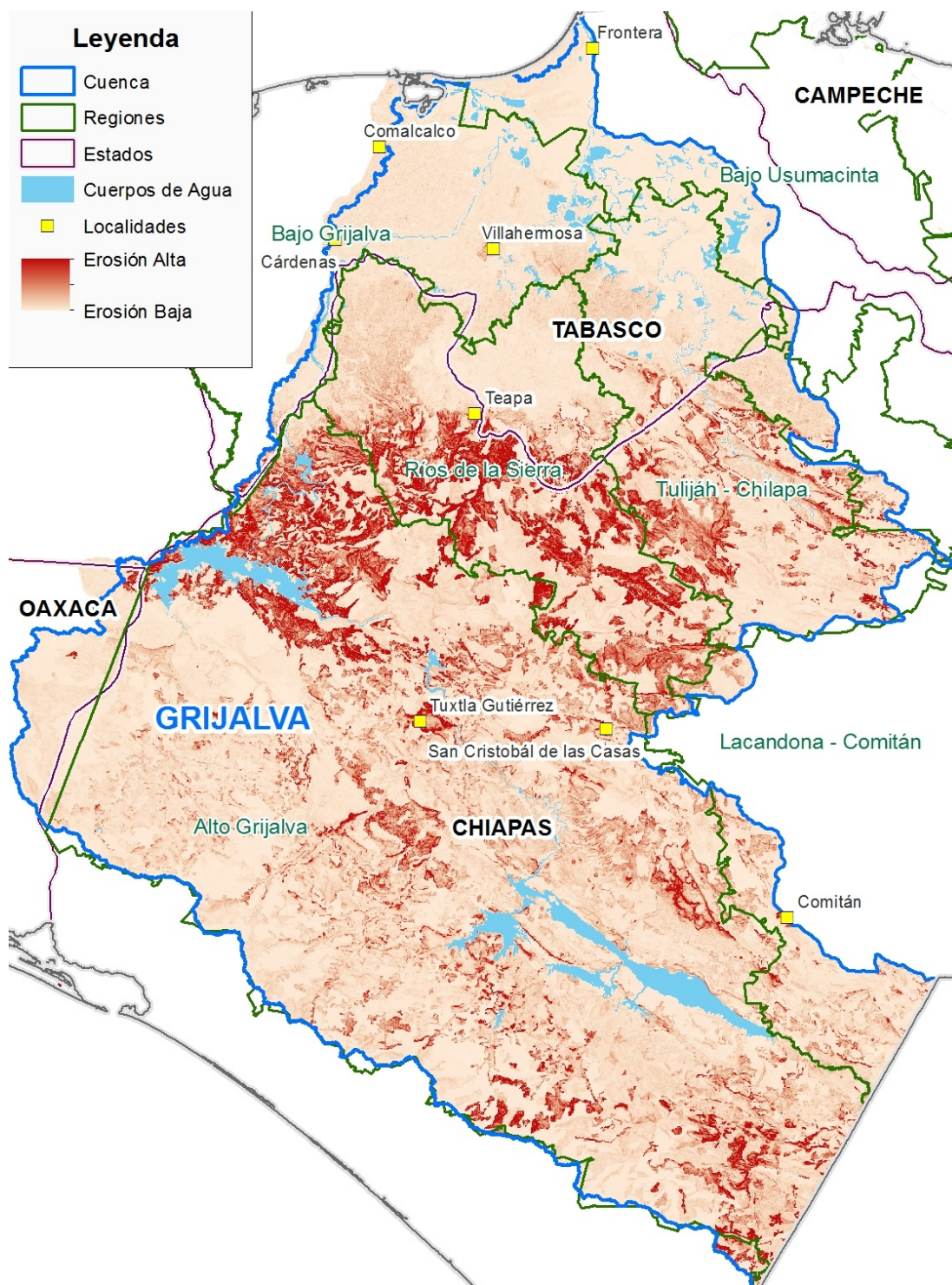
antrópicas. Al evaluar la alteración de la dinámica funcional de cuencas y los niveles de presión esperados, el primero es asociado al grado de transformación humana, la degradación de suelos, la fragmentación de los ríos, el deterioro de las zonas riparias, la presión hídrica y la contaminación difusa; mientras que el segundo considera los niveles de presión que ejercerían el crecimiento proyectado de la población (al 2030) y las tendencias de cambio de uso de suelo (a partir de lo ocurrido de 1976 a 2008). La cuenca Grijalva-Usumacinta es evaluada con un grado medio de alteración de la dinámica funcional y un nivel alto de presión esperada (Cotler *et al.*, 2010).

Si bien la dinámica funcional de toda la cuenca aún es aceptable, su nivel de presión esperado, principalmente por cambio de uso de suelo, para los siguientes años es alto; sobre todo en aquellas zonas cercanas a Áreas Naturales Protegidas, ya que son las que presentan mayor presión para cambio de uso de suelo, pero a su vez, son las que muestran más presencia de ecosistemas naturales aún conservados. Basados en estos grandes indicadores, esta sección propone una primera regionalización que pretende dar cuenta del funcionamiento del agua y sus espacios; principalmente la ubicación de infraestructura dedicada a la generación de electricidad y de grandes asentamientos humanos, así como la presión hacia grandes ecosistemas naturales. Dicha regionalización se basa en la identificación de seis áreas principales: Tulijáh –Chilapa; Ríos de la Sierra; Lacantún – Chixoy; Bajo Usumacinta; Bajo Grijalva; y Alto Grijalva (Mapa 5.17).

Mapa 5.14. Relación de la erosión con las características geográficas y sociales de la cuenca Grijalva-Usumacinta.



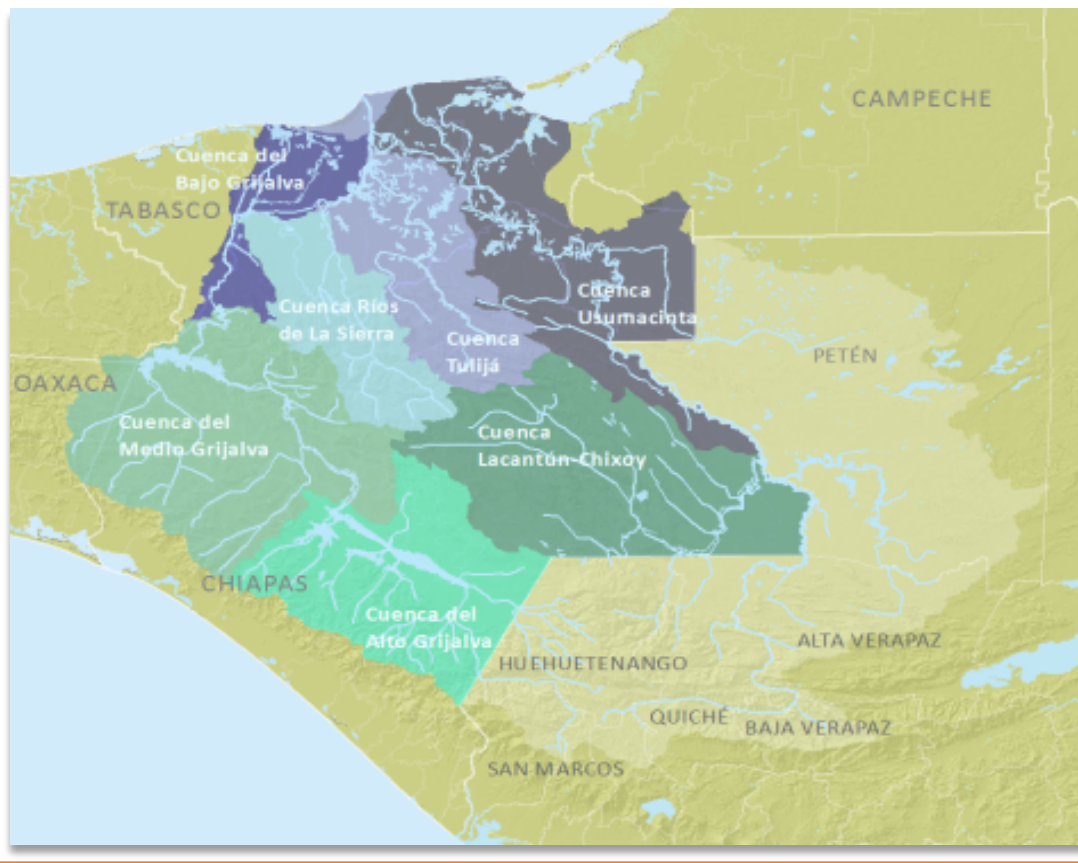
Mapa 5.15. Relación de la erosión con las características geográficas y sociales de la cuenca Grijalva.



Mapa 5.16. Relación de la erosión con las características geográficas y sociales de la cuenca Usumacinta.



Mapa 5.17. Área de estudio en México de los ríos Grijalva y Usumacinta (Unidades Hidrográficas).



5.5.1 Unidades hidrográficas Alto y Bajo Grijalva

La cuenca del río Grijalva se extiende a lo largo de la porción occidental del sistema Grijalva-Usumacinta, desde Guatemala hasta una de sus desembocaduras en la costa Tabasqueña. Sin embargo, para su estudio y entendimiento se divide funcionalmente en sus porciones alta, media y baja (CONAGUA, 2011). La porción alta del Grijalva se ubica desde la frontera con Guatemala hasta la cortina de la presa La Angostura; mientras que para la porción media, la presa Peñitas funge como el punto de salida, el cual remarca una atención particular debido al papel que ha jugado en el análisis de los problemas de inundación de la ciudad de Villahermosa en Tabasco. Aguas abajo de la presa Peñitas se encuentra la bifurcación de los ríos Mezcalapa y Samaria. Este punto, además, define lo que históricamente ha mostrado el reclamo natural del río Grijalva de los flujos naturales en la zona baja de la cuenca del río Mezcalapa, lo que da pie a la formación del sistema fluvial Tabasqueño en la porción Occidental al producir una salida natural hacia el río Samaria y el flujo ya establecido hacia el río Carrizal. La porción baja abarca la parte sur de la cuenca e incluye ciudades importantes como Huimanguillo, Cárdenas, Comalcalco, Paraíso y la capital del estado, Villahermosa.

Para fines de este trabajo, las porciones alto y medio Grijalva constituyen la Unidad Hidrográfica Alto Grijalva (UHAG), la cual se origina por el cruce en la frontera entre México y Guatemala de los ríos San Gregorio y San Miguel hasta la compuerta de la presa Peñitas. Tiene una extensión de 3.1 millones de hectáreas. De ellas, 1.6 millones corresponden a bosques (pino, encino y mesófilo de montaña) y selvas (baja caducifolia, alta perennifolia, mediana subcaducifolia y subperennifolia), de los cuales solo el 30.2% tienen una condición primaria. Cuenta además con una extensión de 228 mil hectáreas de pastizales inducidos, que son subutilizados para ganadería, y 1.2 millones de hectáreas dedicadas a otros usos, principalmente agrícola (62.8%), pecuario (30.1%), cuerpos de agua (4.8%) y zonas urbanas (2.3%). Es importante mencionar que de las 768,328.7 ha de uso agrícola en la UHAG, el 88.5% corresponde a agricultura de temporal, sujeto a alteraciones de ciclo agrícola por efectos de cambio climático.

Hidrológicamente, esta unidad tiene una precipitación promedio de 1,328 mm al año, una temperatura promedio de 24°C y una evaporación media anual de 1,651 mm, por lo que a la salida de la presa peñitas, la unidad presenta una disponibilidad media anual de agua superficial de 18,521.23 millones de m³ por año (CONAGUA, 2010). Se trata de la UH más poblada, con un total de 2,204,355 habitantes distribuidos en 9,115 localidades (INEGI, 2010).

La Unidad Hidrológica Bajo Grijalva (UHBG) tiene una extensión de 436,599.8 ha, de las cuales, el 20.5% corresponde con algún tipo de vegetación (631,918 ha de vegetación popal y tular y 25,190 ha de bosque principalmente de manglar y selva alta perennifolia); mientras que el resto, 34,228.5 ha, corresponden a los siguientes usos: pecuario (67.6%), agrícola (28.3%), cuerpos de agua y zonas inundables (2.4%), además de zonas urbanas (1.7%). Se trata de una unidad caracterizada por una planicie costera ocupada principalmente por bastos campos ganaderos y cultivos de cacao. La población en esta unidad es de 864,260 habitantes en apenas 650 localidades, de las cuales sobresale la ciudad de Villahermosa (INEGI, 2010).

Hidrológicamente, esta unidad se considera la salida del río Grijalva, por lo que su disponibilidad media anual de agua superficial de 55,898.14 millones de m³ por año, producto de una precipitación promedio de 2,672 mm al año, una temperatura promedio de 25°C y una evaporación media anual de 1,243 mm (CONAGUA, 2010).

5.5.2 Unidades hidrográficas Lacantún-Chixoy y Usumacinta

La cuenca del río Usumacinta nace en la Sierra de los Cuchumatanes en Guatemala, y es frontera entre este país y México, desde la región del Marqués de Comillas, en Chiapas, hasta su estrechamiento en el cañón Boca del Cerro, en Tabasco. El río Usumacinta se considera de tipo maduro debido al equilibrio que presenta entre la pendiente y la deposición de material, lo que se refleja con una gran sinuosidad de sus meandros, que ya en México van bordeando los estados de Chiapas y Tabasco, hasta insertarse

en la planicie costera tabasqueña y depositar sus aguas llenas de nutrientes al Golfo de México mediante varios afluentes. Para fines de esta regionalización, la cuenca en México se divide en dos unidades: la primera, Lacantún-Chixoy, corresponde a la subcuenca del río Lacantún y se le agrega la pequeña subcuenca del Río Chixoy, proveniente de Guatemala, desde su ingreso a territorio chiapaneco hasta la confluencia con el río Lacantún; y la segunda, Usumacinta, corresponde a la subcuenca que se forma con la parte baja de la cuenca del río con el mismo nombre, a partir de la confluencia de los ríos Lacantún y Chixoy, hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de México, en Tabasco, y la Laguna de Términos, en Campeche.

La Unidad Hidrológica Lacantún-Chixoy (UHL-C) está conformada por los territorios del antiguo desierto del Lacandón en México. Tiene una extensión de 1.7 millones de hectáreas, de las cuales, 1.2 millones (71%) corresponden a bosques (pino encino, mesófilo de montaña) y selvas (mediana subperennifolia y alta perennifolia) donde el 49% de éstas se conserva aún como vegetación primaria, una buena parte de ella protegida mediante el instrumento de ANPs. El resto del área de la unidad se distribuye en vegetación hidrófila, tulares y pastizales inducidos (5.2%); uso pecuario (15%); uso agrícola (7.6%); cuerpos de agua (0.8%) y asentamientos urbanos (0.4%). Esta unidad, además de presentar una fuerte composición de población indígena, presenta localidades muy dispersas y pequeñas (2,221) con un total de 608,931 habitantes del estado de Chiapas (INEGI, 2010).

Hidrológicamente, esta unidad se considera hasta la unión de los ríos Chixoy (551 m³/s aforados en San Agustín Chixoy, Guatemala) y La Pasión (322.8 m³/s aforados en El Porvenir, Guatemala) provenientes de Guatemala con el río Lacantún (727 m³/s aforados en Playón de la Gloria, México) que recoge sus aguas principalmente de la Selva Lacandona en México, donde su disponibilidad media anual de agua superficial es de 29,725.01 millones de m³ por año (CONAGUA, 2010).

La Unidad Hidrológica Usumacinta (UHU) comprende la parte baja de la cuenca del mismo nombre en su porción mexicana, desde el municipio de Palenque, su paso por el cañón de Boca del Cerro en Tabasco, hasta su desembocadura a la Laguna de Términos en Campeche por el río Palizada, el Golfo de México por el río San Pedro y San Pablo y su unión con el río Grijalva en Tres Brazos. Esta cuenca es la más caudalosa de todo el sistema, con una disponibilidad media anual de agua superficial de 64,149.56 millones de m³ por año, producto de una precipitación promedio de 2,291 mm al año, una temperatura promedio de 23°C y una evaporación media anual de 1,247 mm (CONAGUA, 2010). En esta unidad existen 1,759 localidades con una población total de 338,088 habitantes de los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche (INEGI, 2010).

La UHU tiene una extensión de 1.6 millones de hectáreas, de las cuales 523,110 ha (32.9%) corresponden a selvas (selva media alta y baja perennifolia, selva media subperennifolia y selva espinosa) y manglares, de lo cual 58.4% corresponde a

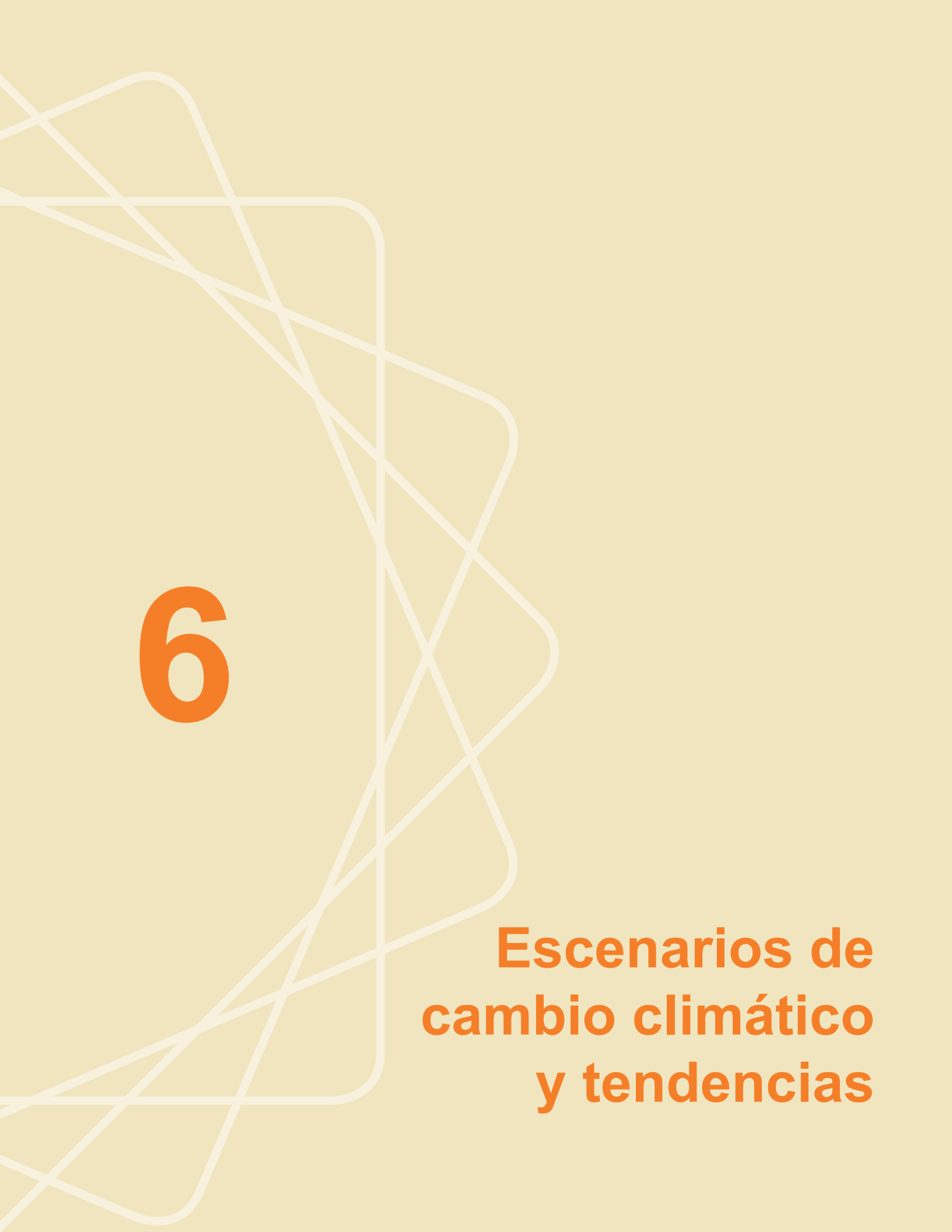
vegetación primaria. Presenta también 284,364.3 ha de vegetación hidrófila (17.9%), principalmente tulares y popales; mientras que sus usos se distribuyen de la siguiente manera: pecuario (42%), agricultura (4.4%), cuerpos de agua (2.5%), asentamientos urbanos (0.2%) y plantaciones forestales (0.1%). Cabe mencionar que esta unidad y la del Bajo Grijalva presentan porcentualmente la menor cobertura vegetal. El mayor porcentaje de cobertura en la UHU se debe a la presencia de las ANPs de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC) y el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT).

5.5.3 Unidades hidrográficas Ríos de la Sierra y Tulijáh

Las cuencas de los ríos de la Sierra y Tulijáh, además de corresponder íntegramente a la definición de cuenca hidrográfica, forman parte de la configuración original descrita en la sección anterior, ya que su ubicación está completamente comprendida en México, lo que entre otras características, les confiere una mayor ventaja para su manejo. Mientras que la cuenca del río de la Sierra, el cual recibe varios nombres desde su origen en Chiapas, siendo uno de ellos el de Tacotalpa, vierte sus aguas en el río Viejo o Mezcalapa, cuyas aguas bordean la ciudad de Villahermosa, uniéndose aguas abajo con el río Pichucalco. La Cuenca del río Tulijáh, nombrado así en Chiapas, recibe las aguas del río Macuspana en Tabasco, teniendo aguas abajo el nombre de río Chilapa donde también reciben el aporte del río Chilapilla antes de unirse al río Grijalva en su carrera al Golfo de México.

La Unidad Hidrográfica Río de la Sierra (UHRS) tiene una extensión de 729,216.9 ha, de las cuales, 262,817.1 ha (36%) corresponden a bosques (pino, encino y mesófilo de montaña) y selvas (alta y baja perennifolia), donde el 18.7% se conserva como vegetación primaria, además de tener 13,612.6 ha de vegetación tular (1.9%). El resto del área de la cuenca está ocupada por usos pecuario (39.6%) y agrícola (22%), además de cuerpos de agua y asentamientos humanos (0.5%). La disponibilidad media anual de agua superficial es de 3,527.49 millones de m³ por año, pero está caracterizada por la ocurrencia de avenidas muy rápidas debido a su conformación topográfica (CONAGUA, 2010). En esta cuenca hay 2,036 localidades con un total de 794,933 habitantes, de los cuales, 71.2% son pobladores del estado de Chiapas (INEGI, 2010).

Finalmente, la Unidad Hidrográfica Río Tulijáh (UHRT), tiene una extensión de 942,589.3 ha, de las cuales 270,597.9 ha (28.7%) corresponden a una gran variedad de bosques y selvas en estado secundario (80%), y 149,053 ha de vegetación tular y popal (15.8%). Sin embargo, más de la mitad de la cuenca está ocupada por distintos usos, entre los que sobresalen el pecuario (44.2%), el agrícola (7.8%), así como cuerpos de agua y zonas urbanas (3.5%). La disponibilidad media anual de agua superficial es de 10,935.06 millones de m³ por año (CONAGUA, 2010). En esta cuenca hay 1,966 localidades con un total de 909,048 habitantes, de los cuales, 68.9% son pobladores del estado de Tabasco (INEGI, 2010).



6

Escenarios de cambio climático y tendencias

6. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y TENDENCIAS

El análisis de los escenarios de cambio climático y tendencias del clima es importante para obtener aproximaciones sobre las posibles condiciones climáticas y sus impactos en las próximas décadas en la cuenca del Grijalva-Usumacinta. Este capítulo presenta el análisis tanto de escenarios de cambio climático como de tendencias para la región. En la actualidad, los modelos climáticos manejan una mayor certidumbre sobre los patrones climáticos a nivel sub-continental (IPCC, 2007). Existen esfuerzos importantes por avanzar en la certeza de los modelos climáticos a nivel regional; sin embargo, el incremento de la resolución implica un aumento significativo del grado de incertidumbre de las posibles variaciones de precipitación y temperatura a nivel local, y en especial, de las tendencias futuras sobre los eventos climáticos extremos (OECD, 2010; INECC, 2012).

Este estudio ha hecho el esfuerzo por integrar en su análisis los más recientes escenarios de cambio climático generados para México. Estos datos fueron compartidos por la Red Mexicana de Modelación del Clima, que coordina el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), y que integran el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (CCA-UNAM).

6.1 Escenarios de cambio climático

La Red Mexicana de Modelación del Clima llevó a cabo el análisis regional del periodo histórico y de las proyecciones de 15 modelos de circulación general (MCG) del Proyecto de Inter-Comparación de Modelos Acoplados, Fase 5 (CMIP5, por sus siglas en inglés) para el caso de México, que serán utilizados en el Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (INECC, 2013). El Cuadro 6.1 presenta los 15 MCG utilizados en el CMIP5 del IPCC (INECC, 2013).

El siguiente reporte del IPCC (AR5) contendrá escenarios de cambio climático basados en “Vías de Concentración Representativas” (RCP por sus siglas en inglés), los cuales asocian las proyecciones probables de emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera en función del tiempo con fuerzas de radiación equivalentes (W/m^2).

El proceso de desarrollo de los nuevos escenarios desvincula, hasta cierto punto, las ciencias climáticas de las proyecciones socioeconómicas, ya que una trayectoria de concentraciones dada puede ser el resultado de diferentes proyecciones socioeconómicas y modelos de evaluación. Las líneas históricas de los RCP fueron desarrolladas para

Cuadro 6.1. Modelos de Circulación General.

1. Max-Planck Institute (MPI-ESM-LR)	6. Beijing Climate Center (BCC-CSM1-1)	12. Met Office Hadley (MOHC)
2. Institute for Numerical Mathematics (INM)	7. Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL-cm5a-lr)	13. Meteorological Research Institute (MRI-CGCM3)
3. Norwegian Climate Center (NorESM1)	8. NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS-E2-R)	14. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-CM3)
4. Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CanESM2)	9 y 10. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC-esm-chem y MIROC-esm)	15. Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO-MK3-6)
5. Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM-CM5)	11. Atmosphere and Ocean Research Institute (MIROC5)	

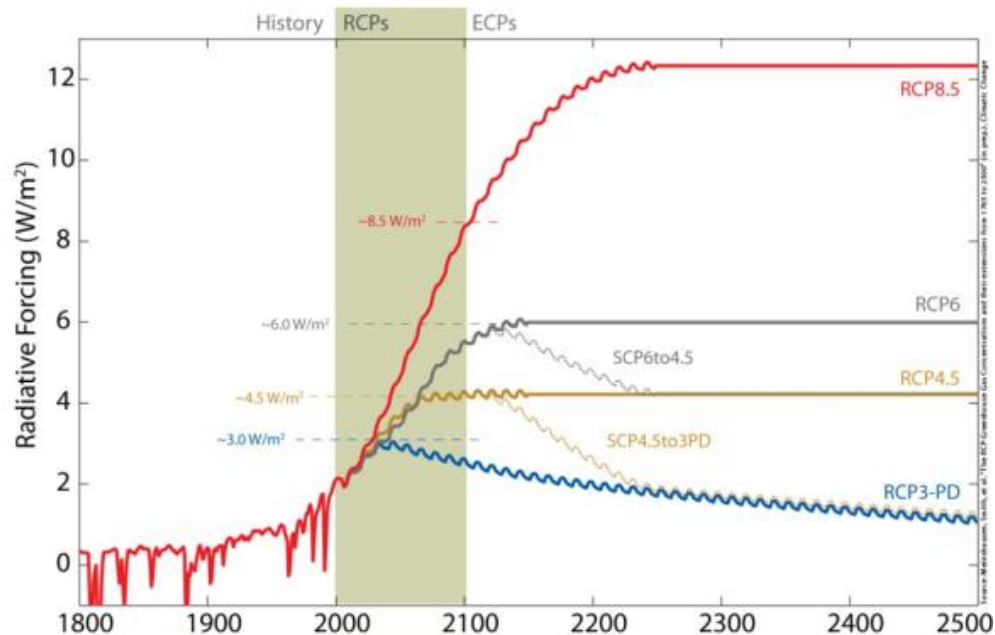
describir las relaciones entre las fuerzas dominantes de emisión y su evolución, y cada línea histórica representa diferentes vías de desarrollo económico, demográfico, social, tecnológico y ambiental.

El Cuadro 6.2 y la Figura 6.1 muestran los cuatro nuevos escenarios de cambio climático (Moss *et al.*, 2008a) que estarán contenidos en el AR5 del IPCC.

Cuadro 6.2. Descripción de los escenarios de cambio climático RCP.

Escenarios	Fuerza de radiación [W/m ²]	Concentración equivalente de CO ₂ [ppm]	Forma del Itinerario
RCP 8.5	>8.5 W/m ² en 2100	>~1370 CO ₂ eq en 2100	En aumento
RCP 6	Estabilización en ~6 W/m ² a partir de 2100	~850 CO ₂ eq (estabilización, a partir de 2100)	Estabilización sin translimitaciones
RCP 4.5	Estabilización en ~4.5 W/m ² a partir de 2100	~650 CO ₂ eq (estabilización, a partir de 2100)	Estabilización sin translimitaciones
RCP 3	Máximo en ~3 W/m ² antes de 2100, posteriormente disminuye a 2.6 W/m ²	Máximo a ~490 CO ₂ eq antes de 2100, posteriormente disminuye	Culminación seguida de disminución

Figura 6.1. Escenarios RCP en el tiempo.



Se utilizaron métricas climáticas a escala mensual para evaluar el desempeño de cada MCG con respecto a algunas variables superficiales observadas (temperatura máxima y mínima del aire, temperatura promedio del aire y precipitación) durante el periodo histórico 1961-2000, de la base de datos mensuales del *Climate Research Unit* (CRU) de la Universidad de *East Anglia*. Además, se evaluaron índices climáticos extremos mediante el análisis de umbrales presentes y futuros de la temperatura máxima y mínima, y de la precipitación a escala anual y estacional.

Dada la incertidumbre asociada a los MCG, no es recomendable utilizar únicamente uno de ellos para el análisis de escenarios de cambio climático. Giorgi y Mearns (2002) recomiendan utilizar el método fiabilidad del ensamble ponderado (REA, por sus siglas en inglés), calculando la incertidumbre de cada modelo²² con el fin de reducir errores individuales.

La Red Mexicana de Modelación del Clima utilizó los resultados de los 15 MCG, que se combinaron en un ensamble ponderado utilizando el método REA. Esto se hizo

²² El método REA se basa principalmente en dos criterios: 1) el desempeño de la parte histórica de los modelos, y 2) el de convergencia de las proyecciones de los modelos en ambos periodos futuros (cercano y lejano) respecto a la proyección del ensamble de modelos. Los resultados del REA fueron validados utilizando la base de datos del CRU y el promedio simple de los 15 MCG en la climatología de 1961-2000.

para el periodo histórico 1961-2000 y para las proyecciones usando los escenarios de forzamiento radiativo bajo (RCP 4.5), medio (RCP 6) y alto (RCP 8.5). Los periodos analizados fueron el histórico (1961-2000, 40 años), futuro cercano (2015-2039, 25 años) y futuro lejano (2075-2099, 25 años) (Cuadro 6.3). Todas las variables se cortaron y se interpolaron bilinealmente a medio grado (50 km x 50 km) (Mapa 6.1).

Cuadro 6.3. Escenarios de cambio climático.

Horizontes	RCP Escenarios		
Base	Histórico		
2015-2039 (futuro cercano)	RCP 4.5	RCP 6	RCP 8.5
2075-2099 (futuro lejano)			

Mapa 6.1. Cuenca Grijalva-Usumacinta y malla de cálculo (0.50 x 0.50 grados).



El 05 de abril del 2013, el INECC entregó al equipo consultor de este estudio los datos de los escenarios regionalizados para México, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5 en archivos netCDF a nivel mensual. Es importante señalar que este formato no es idóneo para todas las herramientas de análisis. Asimismo, los datos a nivel mensual dificultan el análisis de eventos extremos, ya que para éstos es mejor utilizar datos diarios. Por otro lado, debido a que la información ha sido recientemente generada, se encontraron errores en las unidades de los datos de las proyecciones; por ejemplo, en temperatura

de todos los escenarios en ambos periodos futuros. Se tuvo que realizar un control de calidad de los datos antes de empezar el análisis de los mismos. Finalmente, fueron procesados para realizar una interpretación de los resultados, tomando en cuenta la regionalización propuesta por el estudio, y también la expresión a nivel municipal de los resultados para el análisis de impactos (el anexo del capítulo 6 muestra el proceso seguido para tener la expresión de los datos a nivel municipal).

Temperatura

En términos generales, para los tres escenarios de cambio climático se estiman temperaturas más cálidas y en los dos horizontes de tiempo. Los cambios esperados para el futuro cercano (2015-2039) resultan en alrededor de 1°C, mientras que el incremento se intensifica en el futuro lejano (2075-2099) con un aumento en la temperatura de hasta 5°C para el RCP 8.5. De manera consistente, los cambios más drásticos se presentan en la sub-región Lacantún-Chixoy, cerca de la frontera con Guatemala. A continuación se presenta el análisis para temperatura media, máxima y mínima, considerando los resultados históricos del CRU y los escenarios RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 para la cuenca del Grijalva-Usumacinta. Además, se presenta el análisis de funciones de distribución de probabilidad (PDF) de la temperatura media, máxima y mínima para la determinación de sus extremos por estación de los escenarios RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, esto considerando el total de la región Sureste del país.

Temperatura media

En el futuro cercano se espera un incremento generalizado de la temperatura media de aproximadamente 1°C, con cambios de hasta 1.6°C para el RCP 8.5 en áreas de Lacantún-Chixoy. Mientras que los incrementos esperados para el futuro lejano resultan del orden de 2°C en todas las regiones; nuevamente, el panorama más crítico se presenta en Lacantún-Chixoy con incrementos de hasta 5.2°C para el RCP 8.5.

La Figura 6.2 muestra los resultados del CRU (1961-2000) y los escenarios RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5, considerando el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099).

El análisis de temperatura máxima muestra incrementos de hasta 1.4°C en el Alto Grijalva, Bajo Grijalva, Lacantún-Chixoy y el Bajo Usumacinta en el futuro cercano. Para el futuro lejano, el RCP 8.5 presenta incrementos de hasta 5.1°C en Lacantún-Chixoy y el Alto Grijalva, un comportamiento que posiblemente originará veranos mucho más cálidos y posibles ondas de calor (Figura 6.3).

Figura 6.2. Resultados para temperatura media: CRU, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.

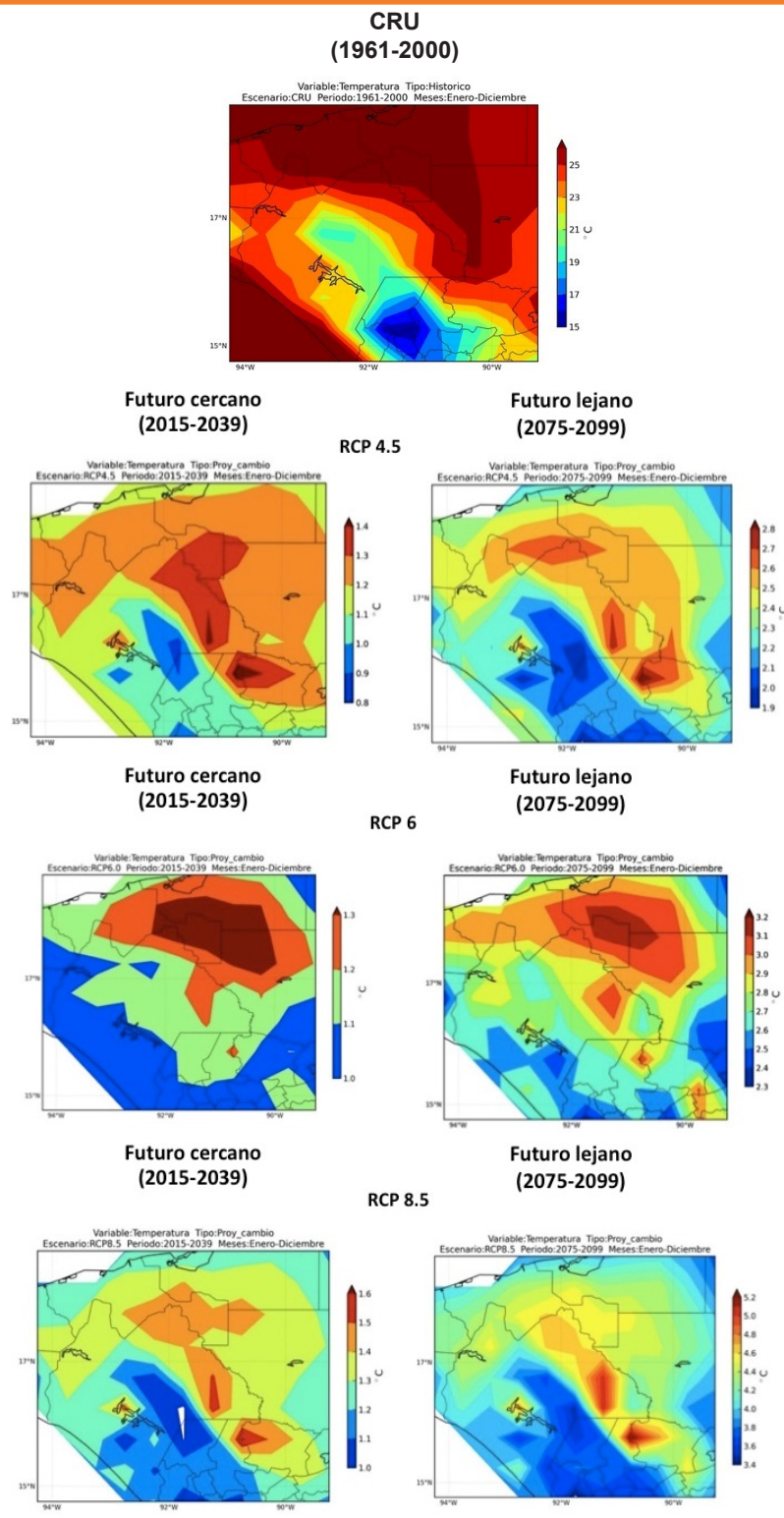
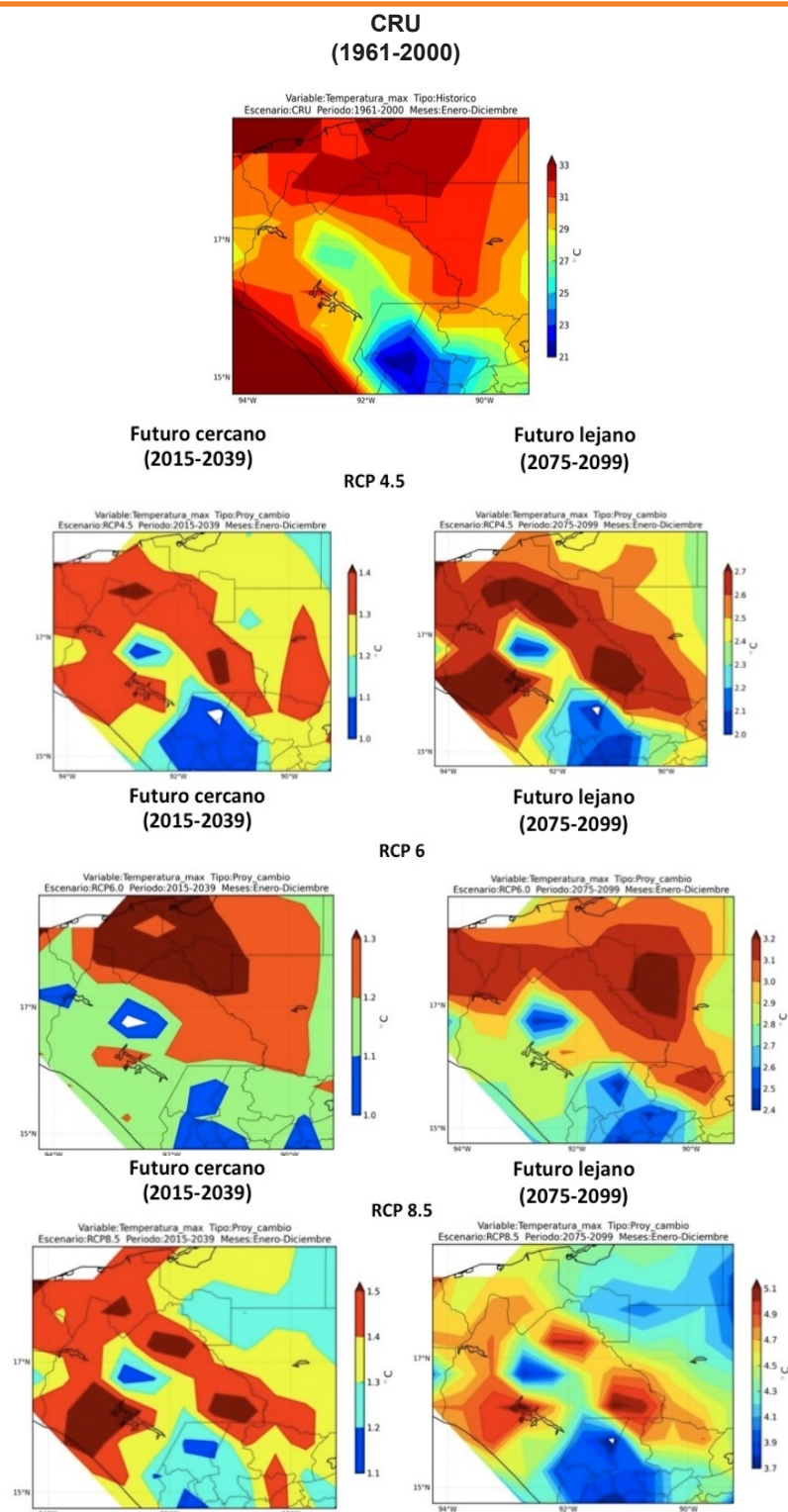


Figura 6.3. Resultados para temperatura máxima: CRU, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.



Temperatura mínima

Es de esperar que existan incrementos en la temperatura mínima, lo que originaría que en el invierno se presenten temperaturas más cálidas. En el futuro cercano, los incrementos resultan de aproximadamente entre 1°C y 1.3°C, de manera específica, en la región colindante con la frontera de Guatemala en Lacantún-Chixoy. Similar a las otras dos variables de temperatura (media y máxima), a finales de siglo se espera un incremento de la temperatura mínima de hasta 4.4°C en áreas de Lacantún-Chixoy (Figura 6.4).

Temperatura media por estación

En el caso de la temperatura se observa que el cambio es positivo en todas las estaciones, mientras que los valores extremos de las distribuciones son mayores para el futuro lejano. Así también se observa que las probabilidades más grandes de un incremento se tienen a temperaturas mayores con el forzante radiativo más alto de los escenarios. Para Diciembre-Enero-Febrero (DJF), el RCP 4.5 muestra aumentos hasta de 3°C, RCP 6 de 3.3°C, y RCP 8.5 de ~5.2 °C (Figura 6.5). Para Marzo-Abril-Mayo (MAM) los extremos crecen en el futuro lejano para RCP 6 a 3.6°C y para RCP 8.5 a ~5.7°C (Figura 6.6), mientras que para el futuro cercano los extremos para MAM y DJF son similares.

En Junio-Julio-Agosto (JJA) se observan extremos similares para el futuro lejano en los tres escenarios que en MAM, sin embargo, la probabilidad de incremento es menor en JJA (Figura 6.7). Para Septiembre-Octubre-Noviembre (SON) los extremos son menores, de alrededor de 3.3, 2.8 y 4.3°C para RCP 6, RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, en el futuro lejano. En el futuro cercano para SON, RCP 6 y RCP 8.5 muestran extremos en temperaturas menores o alrededor de 0.9°C a diferencia de RCP 4.5 (Figura 6.8).

Temperatura máxima por estación

En el caso de RCP 6 en DJF, la asimetría en la PDF se conserva tanto en el futuro lejano como en el cercano (Figura 6.9); no obstante, se ve un incremento en la probabilidad de aumento en la temperatura máxima del valor más probable. Para los otros dos escenarios también se observa un incremento en los valores extremos, y los mayores incrementos son observados en MAM para los tres escenarios con ensanchamientos de las alas de la PDF para el futuro lejano con respecto al cercano y un aumento en la probabilidad de ocurrencia de esos incrementos (Figura 6.10).

Para JJA se observan valores de extremos mayores que en MAM, además de que para RCP 8.5 se observa una asimetría a valores grandes con incremento para ambos futuros,

Figura 6.4. Resultados para temperatura mínima: CRU, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5.

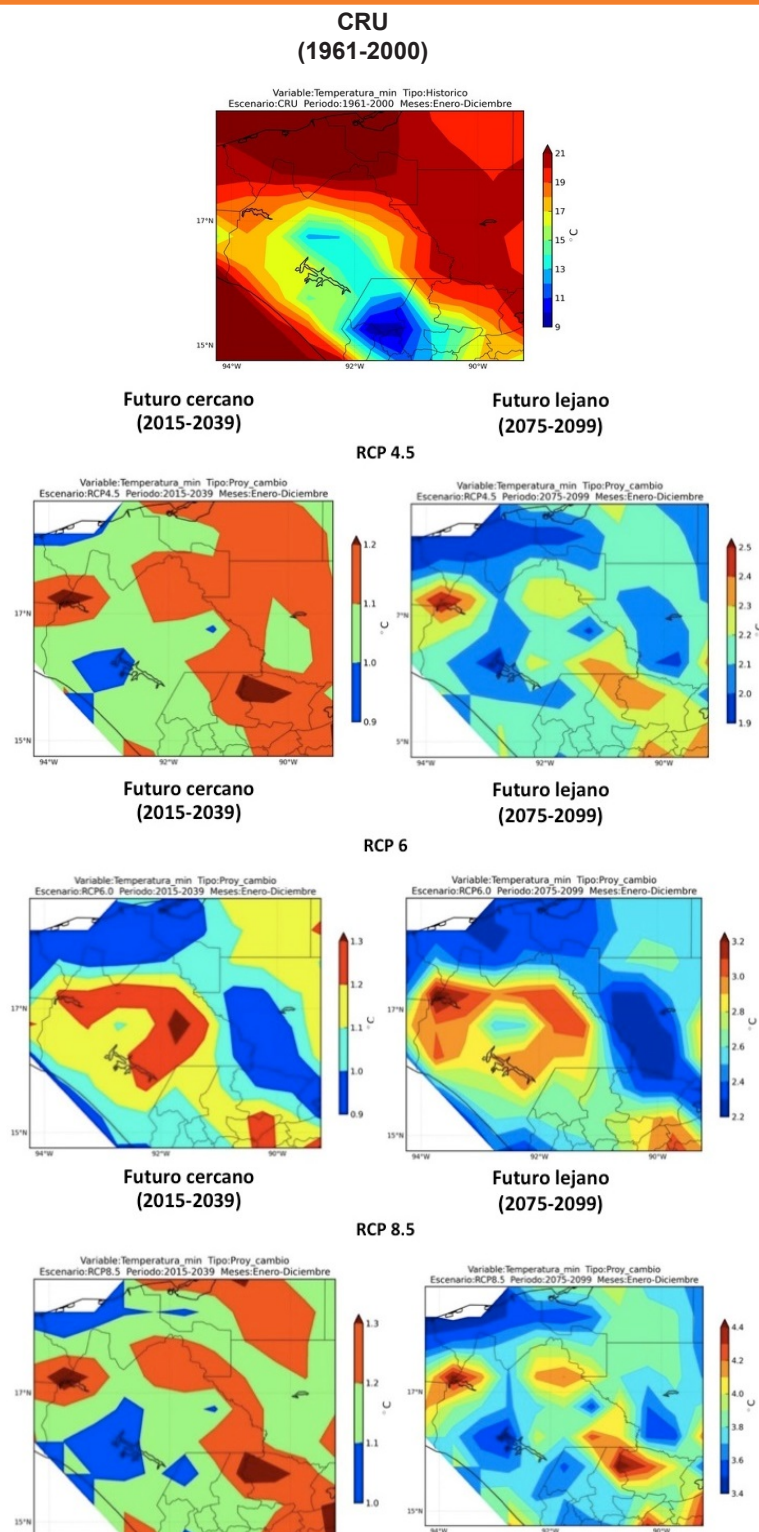


Figura 6.5. Proyección de cambio de temperatura (°C) DJF.

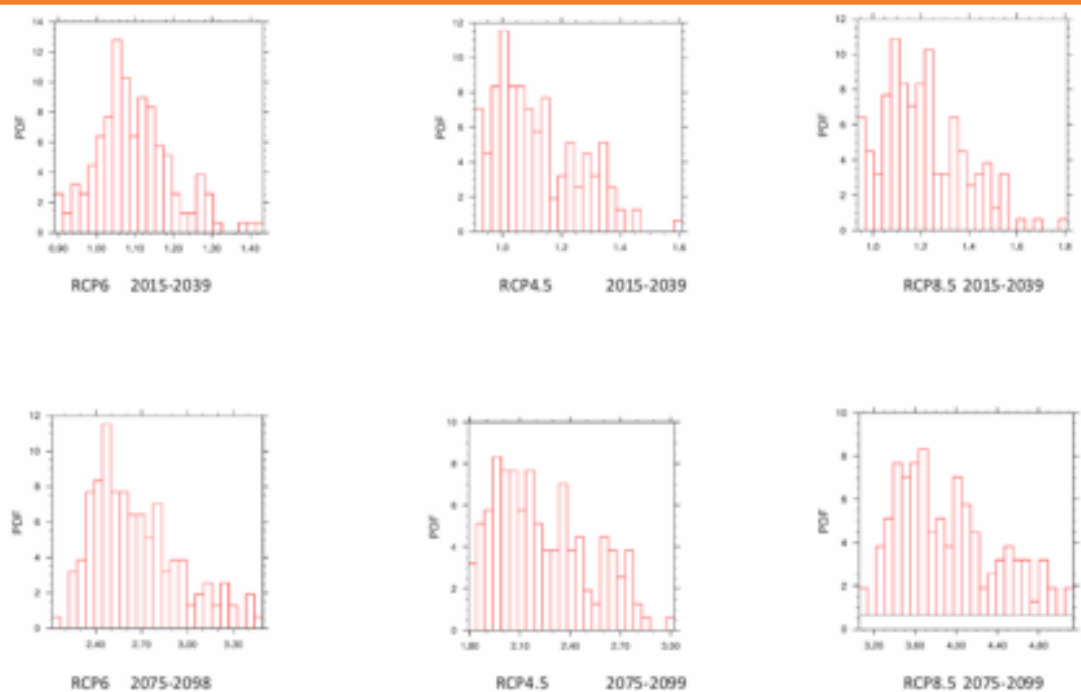


Figura 6.6. Proyección de cambio de temperatura (°C) MAM.

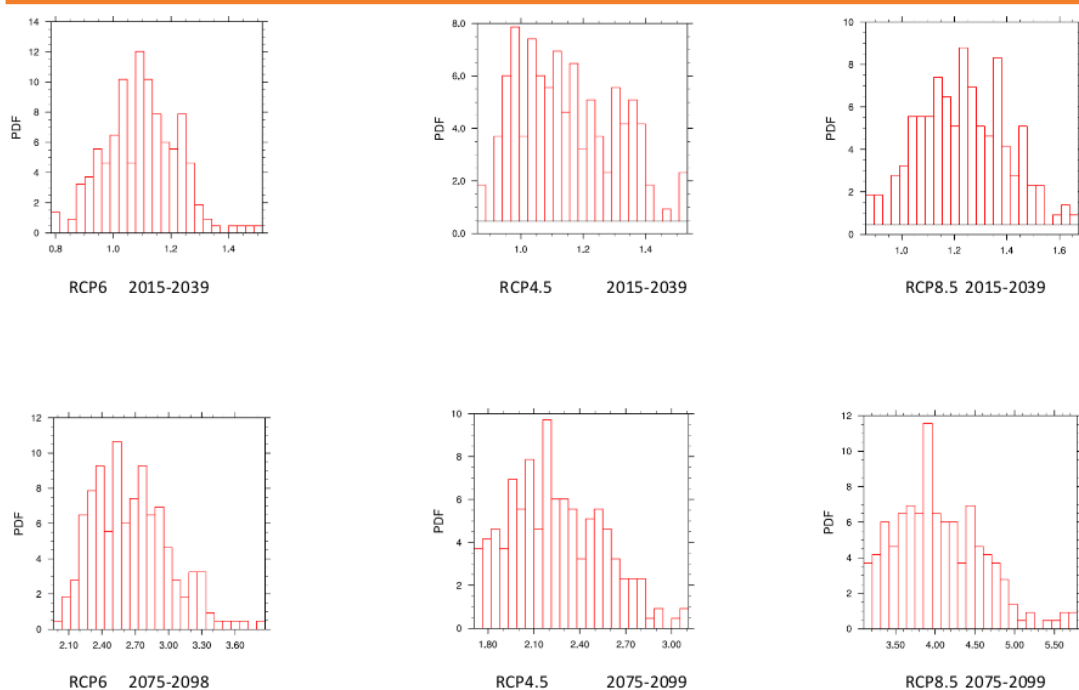


Figura 6.7. Proyección de cambio de temperatura (°C) JJA.

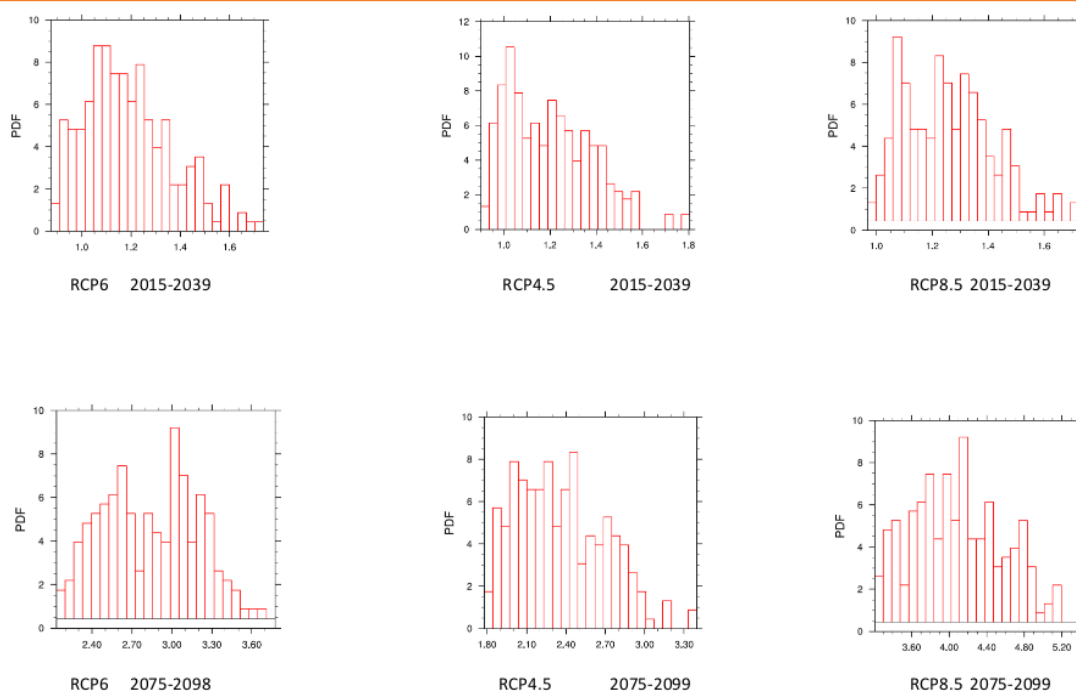


Figura 6.8. Proyección de cambio de temperatura (°C) SON.

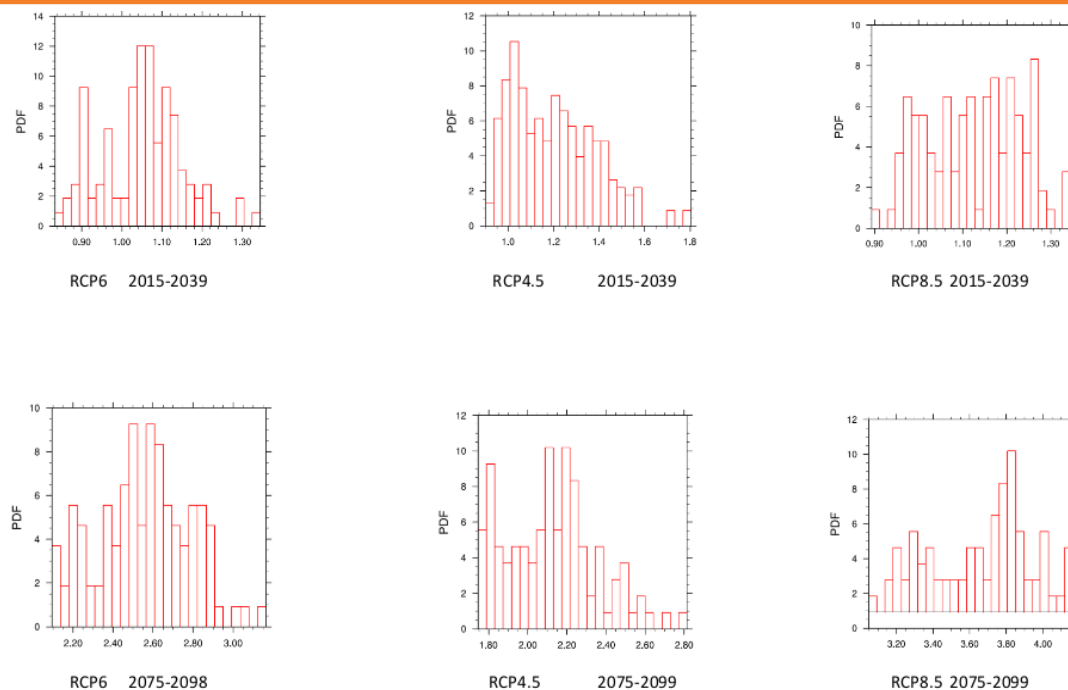


Figura 6.9. Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) DJF.

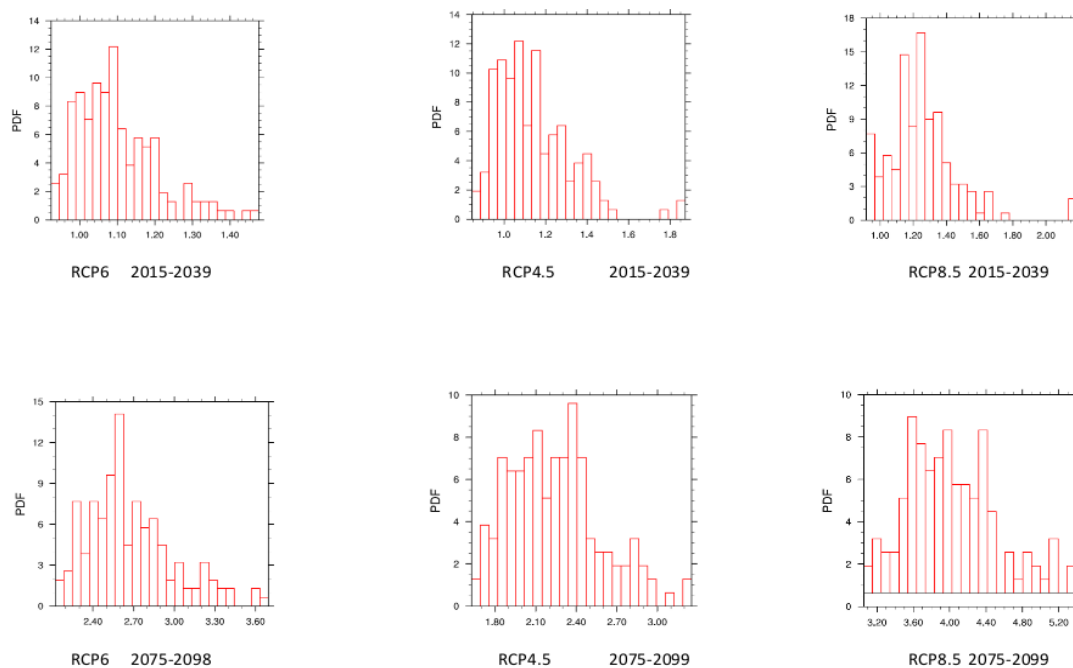
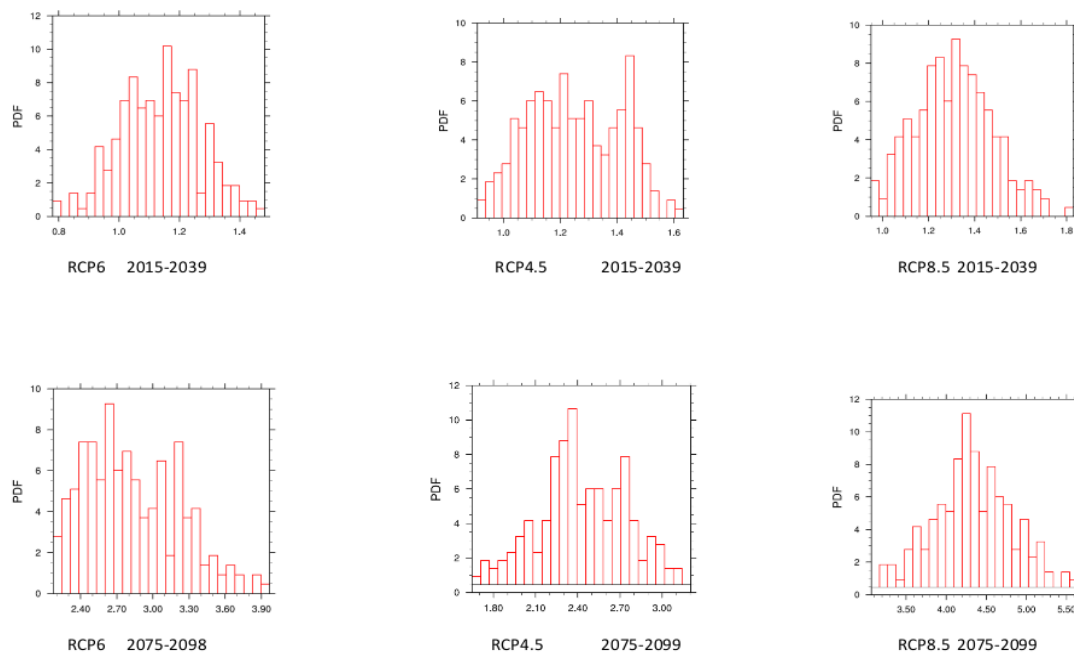


Figura 6.10. Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) MAM.



mientras que esto sólo ocurre para el cercano con RCP 6 y RCP 4.5 y posteriormente en el lejano la probabilidad para todos los valores del rango es comparable entre sí (Figura 6.11). Para SON los extremos en RCP 8.5, RCP 4.5 tienen una probabilidad menor en ambos futuros (Figura 6.12). La asimetría en los tres escenarios es observada para mayores incrementos.

Temperatura mínima por estación

Las PDF de DJF para la temperatura mínima muestran ensanchamiento en las alas para el futuro lejano con respecto al futuro cercano, además de un aumento en la probabilidad de sus extremos a valores más altos (Figura 6.13). Para MAM se observa un comportamiento similar, con un corrimiento a valores mayores en los incrementos más probables. Los valores de los extremos más grandes son observados para RCP 6 en DJF y para RCP 4.5 y RCP 8.5 en MAM (Figura 6.14).

Se observan incrementos en la temperatura mínima para los tres escenarios en JJA, teniendo la mayor probabilidad alrededor de 1.1 a 1.2°C para el futuro cercano, mientras que para el futuro lejano el incremento de mayor probabilidad se recorre a 1.8, 2.3 y 3.7°C para RCP 4.5, RC P6 y RCP8.5, respectivamente, además de aumentar el intervalo de incrementos, llevando a sus extremos positivos alcanzar 2.7, 3.2 y 4.5°C (Figura 6.15). Para SON, RCP 8.5 muestra en el futuro lejano que, prácticamente todos

Figura 6.11. Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) JJA.

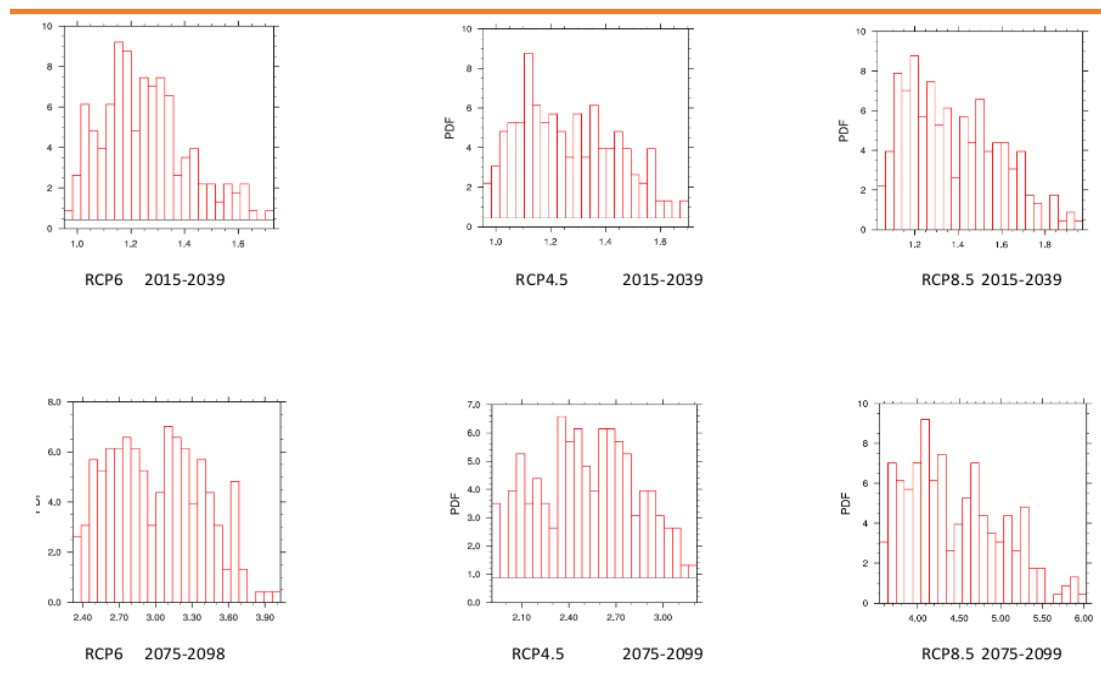


Figura 6.12. Proyección de cambio de temperatura máxima (°C) SON.

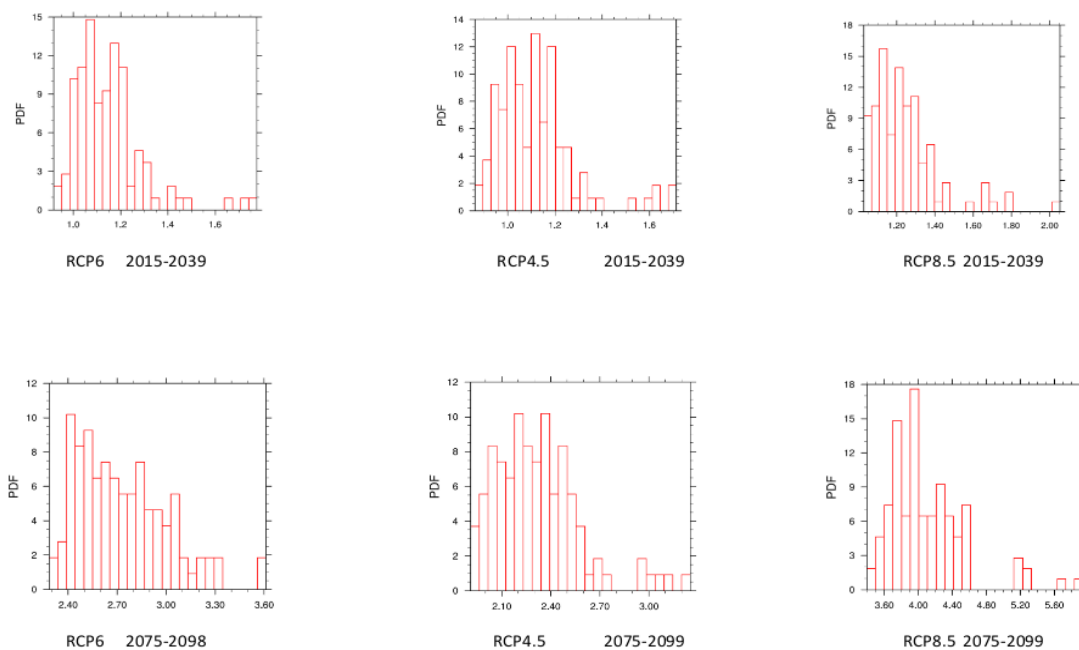


Figura 6.13. Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) DJF.

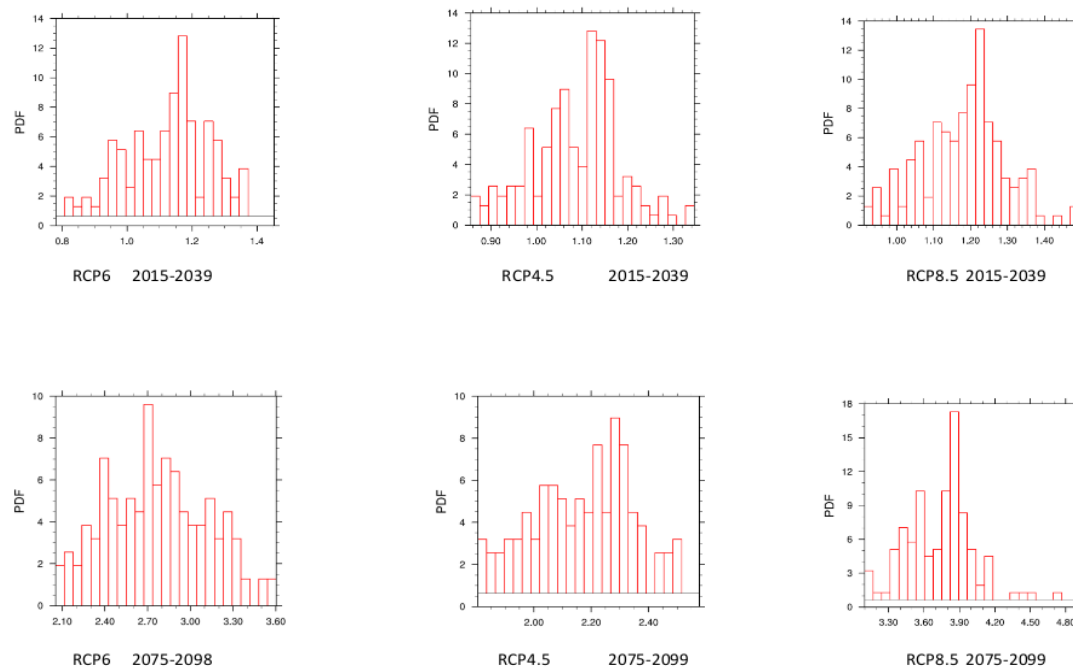


Figura 6.14. Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) MAM.

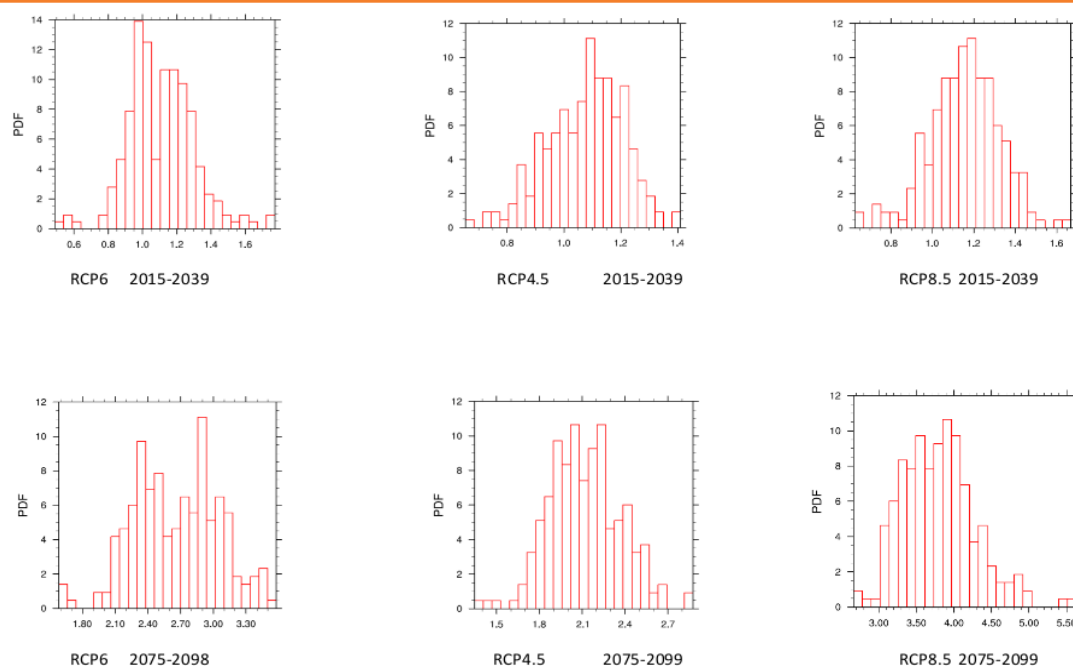
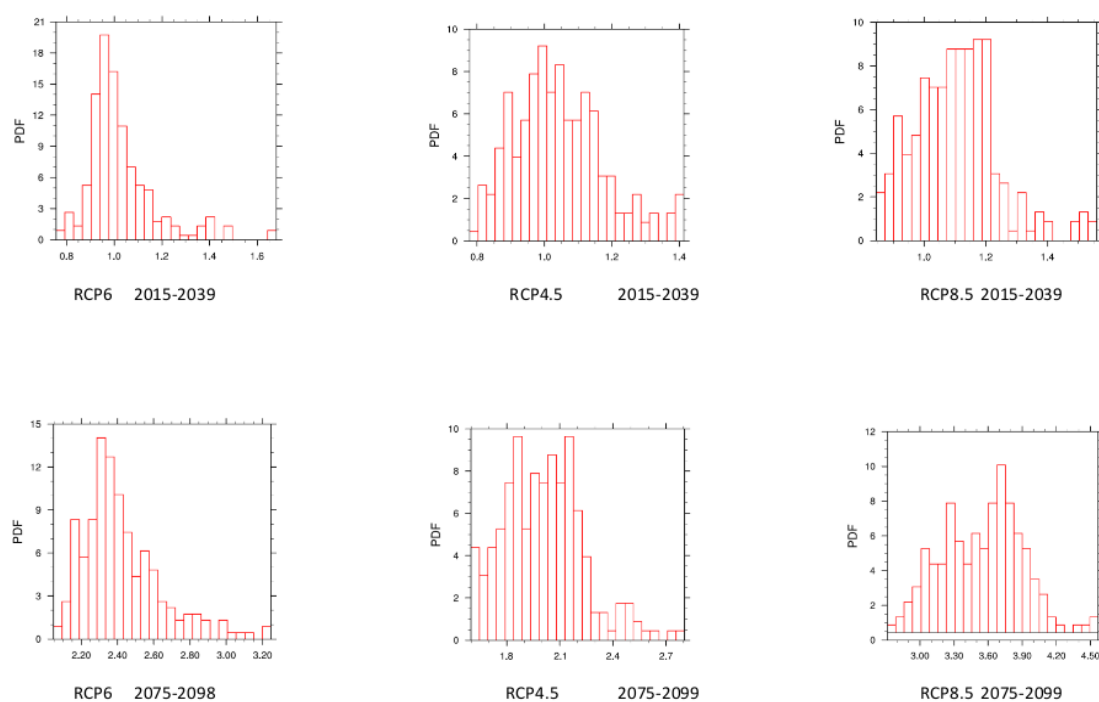


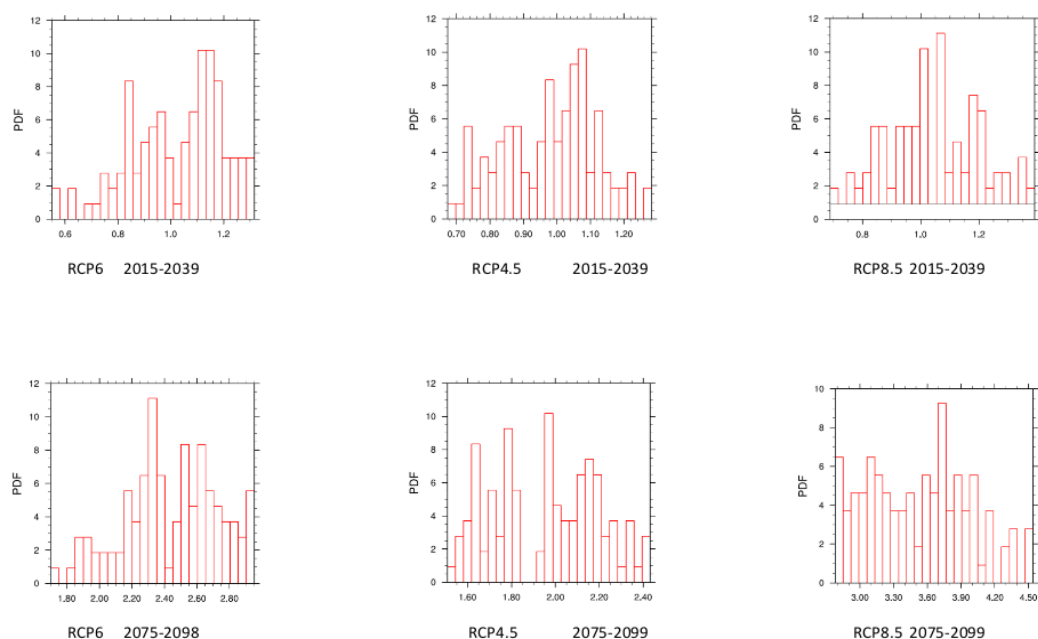
Figura 6.15. Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) JJA.



los incrementos proyectados tienen una probabilidad muy similar de presentarse a diferencia de RCP 6, donde no hay una simetría. En el futuro cercano, los tres escenarios siguen manteniendo un incremento proyectado alrededor de 1.1°C (Figura 6.16).

En conclusión, para la temperatura media el mayor incremento se observa para MAM, tanto para RCP 8.5 como para RCP 6. Por otro lado, la temperatura máxima presenta su mayor incremento en verano (JJA) para RCP 6 y RCP 8.5. Para la temperatura mínima el mayor incremento se observa en MAM para RCP 8.5 y para RCP 6 en DJF.

Figura 6.16. Proyección de cambio de temperatura mínima (°C) SON.



Precipitación

Los resultados obtenidos bajo el escenario RCP 4.5 futuro cercano (2015-2039) para todas las regiones de la cuenca Grijalva-Usumacinta, muestran una caída en la precipitación entre 1.15% y 1.9% con respecto a los datos históricos (Figura 6.17). Para el futuro lejano (2075-2099) la disminución es más pronunciada, siendo ésta de entre 2.11% y 3.35%. Bajo el escenario RCP 6 futuro cercano, se tienen caídas muy poco significativas entre 0.04% y 0.37%; sin embargo, el dato obtenido para la región de Tulijáh muestra un aumento en la precipitación de 0.04%; para este mismo escenario en el futuro lejano se tienen decrementos de precipitación de entre 1.92% y 2.86% (Figura 6.18). Por último, el escenario RCP 8.5 muestra, para el futuro cercano, decrementos de

Figura 6.17. Decremento de precipitación bajo el escenario RCP 4.5 por región.

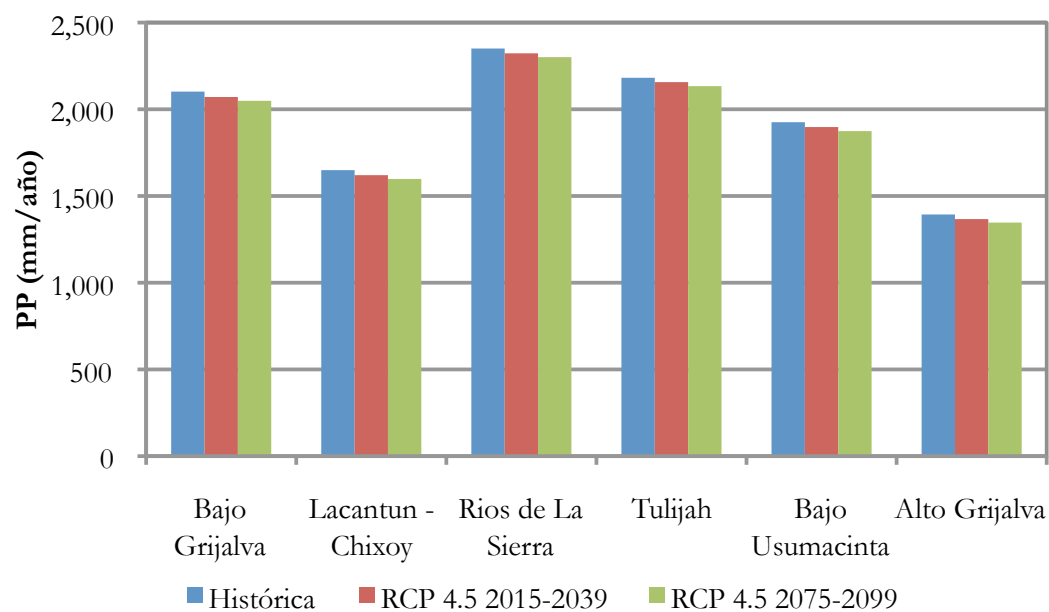
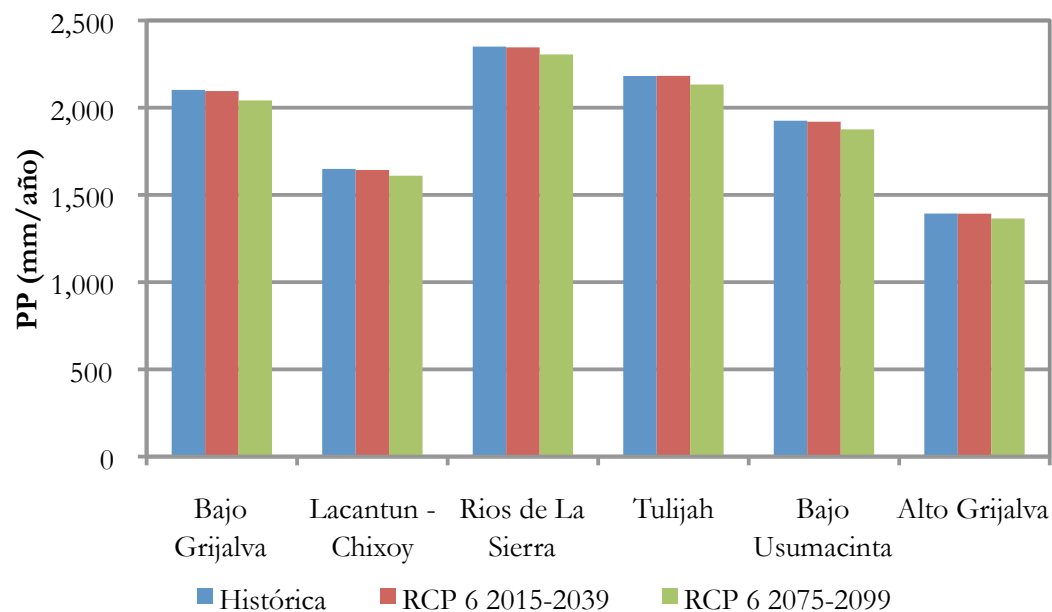
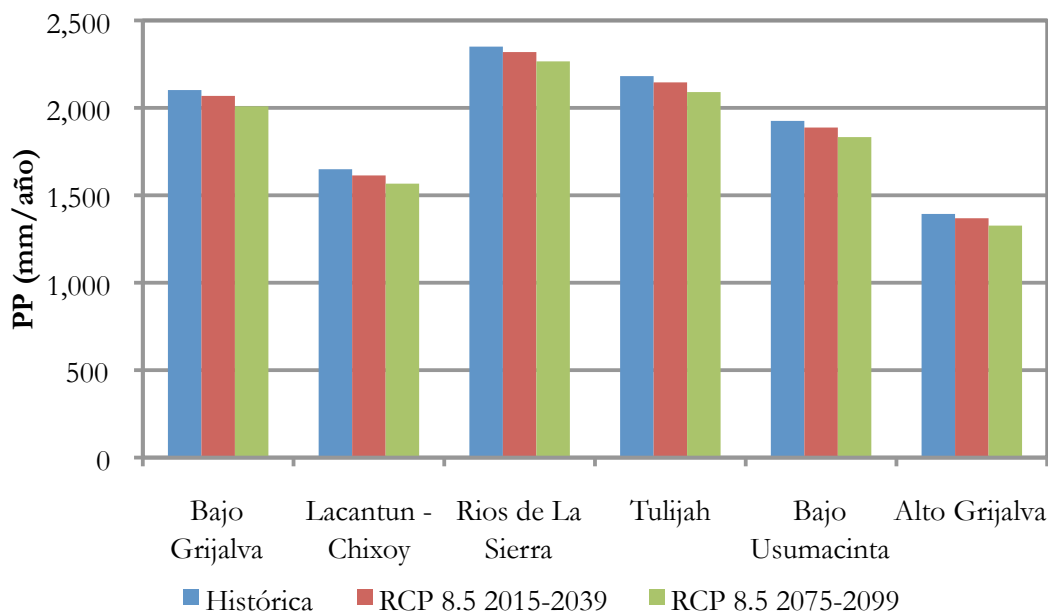


Figura 6.18. Decremento de precipitación bajo el escenario RCP 6 por región.



entre 1.32% para Ríos de la Sierra y 2.15% para Lacantún-Chixoy; para el futuro lejano se obtienen decrementos más marcados, alrededor de 4.5% para cada región, llegando hasta un 5.0% con respecto al dato histórico (Figura 6.19).

Figura 6.19. Decremento de precipitación bajo el escenario RCP 8.5 por región.



Precipitación por estación

De acuerdo con las funciones de distribución de probabilidad para la estación de DJF (Figura 6.20), el escenario RCP 6 muestra un comportamiento diferente a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para el periodo 2015-2039, ya que existen cambios positivos con respecto a la climatología 1961-2000, y cuyos decrementos entre 0 y -0.4 mm/d tienen mayor probabilidad en RCP 6 de que ocurran en RCP 4.5 y RCP 8.5. Mientras que para el futuro lejano, el intervalo de cambio crece en proporción de alrededor de 2, mientras que RCP 6 y RCP 4.5 mantienen su comportamiento, RCP 8.5 muestra eventos positivos con mayor probabilidad que RCP 6.

En el caso de MAM (Figura 6.21) se vuelve a observar un corrimiento en los extremos, es decir, que se observan cambios mayores (tanto positivos como negativos) en el futuro lejano que en el futuro cercano. RCP 8.5 muestra decrementos más grandes con extremos de ~ -1.2 mm/d. Que existan extremos más grandes en el futuro lejano puede indicar que ocurrirán eventos extremos más intensos en esos meses.

Figura 6.20. Proyección de cambio de precipitación (mm/d) DJF.

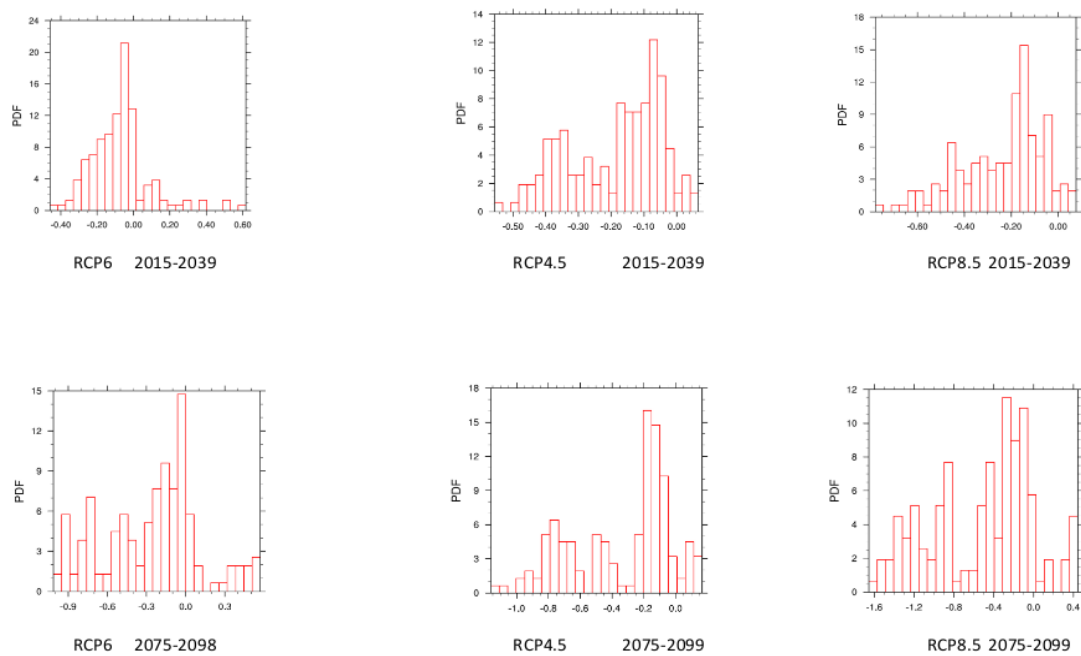
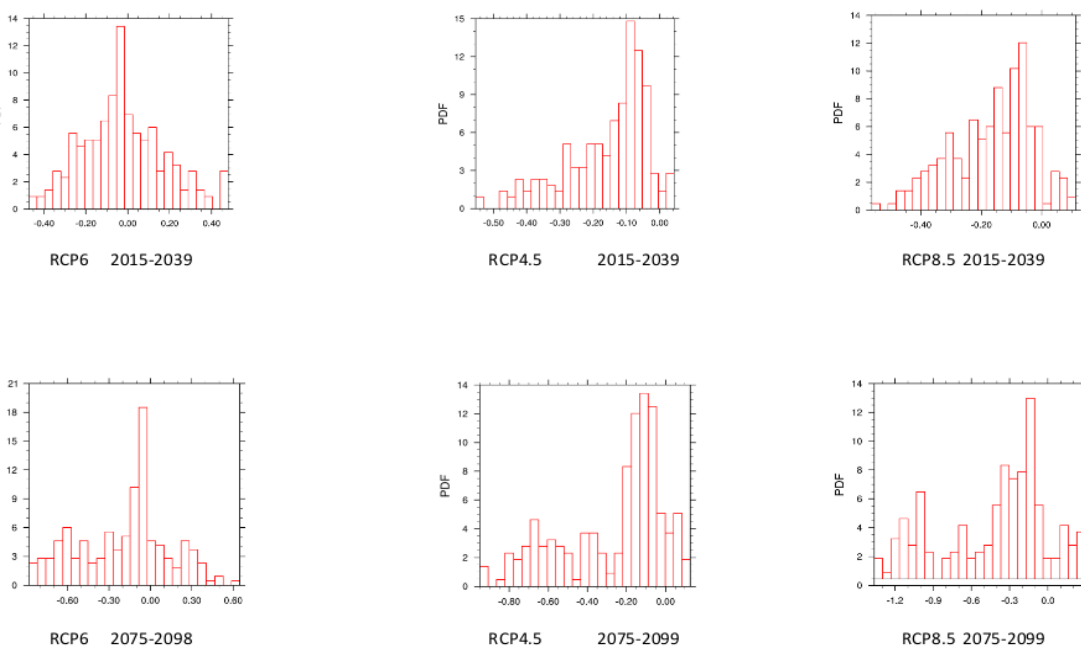


Figura 6.21. Proyección de cambio de precipitación (mm/d) MAM.



Para JJA y SON se observan extremos mayores en el futuro lejano que en el futuro cercano. Mientras que RCP 4.5 y RCP 8.5 muestran probabilidades sesgadas a decrementos, RCP 6 muestra incrementos en JJA, en SON RCP 8.5 muestra extremos positivos, a pesar de que junto con RCP 6 muestran decrementos alrededor de -1.2 mm/d, tienen mayor probabilidad.

Tanto para JJA y SON RCP 6 muestra sus mayores extremos ($\sim$ -1.2 mm/d), RCP 8.5 muestra extremos de $\sim$ -1.6 mm/d en DJF al igual que RCP 4.5 con $\sim$ -1.0 mm/d. La presencia de incrementos en los extremos de las PDF pueden indicar indirectamente la ocurrencia de eventos extremos con mayor intensidad.

En conclusión, RCP 6 muestra los mayores valores extremos en incremento de precipitación para los meses de invierno (DJF) y primavera (MAM), mientras que los mayores decrementos son observados en invierno para RCP 8.5 seguido del verano (JJA) para el mismo escenario.

El siguiente capítulo examina algunos de los impactos más relevantes relacionados con riesgos y cambio climático, considerando los escenarios que aquí se han presentado.

6.2 Identificación de Tendencias Climáticas

Este estudio llevó a cabo un análisis para la identificación de tendencias de la cuenca del Grijalva-Usumacinta; el Anexo 6C contiene el informe principal. A continuación se presenta un resumen con los principales resultados.

Para la identificación de tendencias se utilizó la base de datos climatológica nacional y la interfaz de manejo de datos “CLICOM” (*Climate Computing Project*). Originalmente, se seleccionaron 391 estaciones ubicadas en el área de estudio, a las cuales se les aplicó un control de calidad para los criterios de completitud y homogeneidad, empleando el programa *RClimDex*. Dados los resultados iniciales, se seleccionaron 147 estaciones que tenían más de 30 años de datos y que, además, en este rango de tiempo, incluían el periodo de datos de la línea base de referencia aceptada mundialmente en la modelación climática (de 1961 a 1991).

Para completar las series de datos de las estaciones que presentan algún tipo de discontinuidad, se empleó el generador de datos climáticos *ClimGen*, que utiliza cadenas de *Markov* e interpolación *Spline* para el cálculo de los datos faltantes de precipitación y temperatura, respectivamente. El error incorporado por este proceso se minimizó a través de la generación de superficies continuas, empleando la metodología propuesta por Boer *et al.* (2001), específicamente “*trivariate thin plate splines*” y el modelo digital de elevación (DEM). La estimación espacial de los datos se basó en el

método de interpolación espacial *Kriging* universal para datos funcionales (UKFD) (Caballero *et al.*, 2013; Delicado *et al.*, 2008). La construcción de la malla se llevó a cabo empleando el programa R, específicamente las librerías SP, gstat, fda y geoR.

Una vez identificadas las áreas con menor error se llevó a cabo el cálculo de un promedio, asignando el valor resultante al centro de gravedad del polígono municipal correspondiente, de esta manera se asigna la información a una unidad político administrativa. Del total de estaciones virtuales generadas para el área de estudio, 5 cumplieron con los parámetros de calidad del programa *RClimdex* y *Rhtests*, lo que permitió el cálculo de los índices de tendencia.

En el análisis de los indicadores obtenidos, se encontró un aumento en los días secos consecutivos, lo cual implica periodos de sequía; para 3 de las 5 estaciones se identificó una tendencia negativa en las precipitaciones anuales. En 4 de las 5 estaciones, el índice de intensidad diaria presenta una tendencia positiva, lo cual implica lluvias con mayor intensidad.

Para las variables de temperatura, se encontró una tendencia creciente para la máxima extrema y para la mínima extrema, lo que significa un aumento general. Asimismo, se identificó también un incremento en el número de días cálidos y en el rango diurno de temperatura; las tendencias mencionadas se presentaron en 4 de las 5 estaciones.

El siguiente capítulo examina algunos de los impactos más relevantes relacionados con riesgos climáticos y el cambio climático, considerando los escenarios que aquí se han presentado.

A series of white, overlapping geometric lines, including rectangles and triangles, are drawn on a light beige background. These lines create a complex, abstract pattern that occupies the left and central portions of the page.

7

**Análisis de
impactos
por riesgos
climáticos
y cambio
climático**

7. ANÁLISIS DE IMPACTOS POR RIESGOS CLIMÁTICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

7.1 Introducción

El análisis de riesgos y la cuantificación de impactos por cambio climático es clave para apoyar la toma de decisiones y lograr una planeación de la adaptación, con políticas eficientes que favorezcan las opciones con mayor beneficio y menor costo para la sociedad afectada, contribuyendo a reducir su vulnerabilidad. El capítulo presenta un análisis de los impactos del cambio climático tanto en la hidrología superficial de la cuenca Grijalva-Usumacinta como en sistema socioeconómico.

El análisis de impacto en la hidrología superficial se basa en tres estudios elaborados. Por un lado, la metodología utilizada sigue la norma NOM-011-CNA-2000 (CNA, 2000), que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de aguas superficiales en una cuenca hidrológica. En esta metodología se utiliza un intervalo de tiempo anual y un parámetro de infiltración para la cuenca; debido a esto, se parametrizó un modelo lluvia-escorrentía a nivel mensual y con más detalle en cuanto al número de subcuencas para verificar los resultados de la metodología utilizada siguiendo la norma NOM-011-CNA-2000.

El Anexo 7A muestra los resultados de esta modelación para la cuenca del río Lacantún, que es el tributario más importante a la parte mexicana de la cuenca del río Usumacinta. Los resultados obtenidos muestran que la metodología de la NOM-011-CNA-2000 concuerdan en orden de magnitud con los de una modelación hidrológica a nivel mensual y con más detalle en cuanto al número de subcuencas. De acuerdo con los resultados principales, los escurrimientos en las cuencas de los ríos Usumacinta y Grijalva disminuirán entre el 1% y 6%, y entre el 3% y 12%, para los periodos 2015-2039 y 2075-2099, respectivamente.

Para la cuenca del río Grijalva se utilizó el modelo WEAP para llevar a cabo una modelación hidrológica, con el fin de estimar los efectos del cambio climático sobre la cuantificación del recurso hídrico en las subcuencas de Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas, donde se ubican las cuatro presas principales del río Grijalva del mismo nombre. El Anexo 7B muestra los resultados de la modelación y los impactos esperados sobre la generación de escurrimiento en las cuencas tributarias del complejo hidroeléctrico, y los impactos sobre la generación futura de la energía hidroeléctrica.

En la tercera sección, el capítulo presenta el análisis y cuantificación de impactos de cambio climático para sectores económicos sensibles, los cuales son clave para entender posibles condiciones futuras de vulnerabilidad e identificar aquellos grupos

sociales que se verán posiblemente más afectados en la región con el cambio climático ya sea por desastres climáticos, por la pérdida de la productividad por los cambios del clima, o por el aumento en el riesgo de la seguridad alimentaria.

7.2 Impactos del cambio climático en la hidrología superficial

7.2.1 Introducción

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto del cambio climático en los escurrimientos superficiales en las cuencas hidrológicas de los ríos Grijalva y Usumacinta. Esta evaluación consiste en la estimación de los cambios volumétricos de escurrimiento superficial anual, considerando la variación en la precipitación futura estimada a partir de los resultados de modelos atmosféricos de circulación general (MCG) (Capítulo 6).

En México, la disponibilidad media de agua por habitante se redujo de 11,500 m³ anuales en el año 1955 a 4,900 m³ en 2000, y a 3,822 m³ en 2005, esto principalmente asociado con el crecimiento poblacional que ha experimentado el país. Si el régimen de precipitación pluvial no se modifica sustancialmente, sólo por el crecimiento de la población se esperarían disponibilidades medias de 3,285 m³ en 2030, y de 3,260 m³ en 2050 (SEMARNAT, 2009). Sin embargo, es previsible que conforme avance el proceso del cambio climático, las precipitaciones sean menores pero con mayor concentración, y la disponibilidad media anual de agua por habitante disminuya en forma más acelerada.

Las decisiones acerca de la gestión de los recursos hídricos dependen de las condiciones climáticas y de un adecuado manejo de las fuentes de suministro, especialmente los embalses. En el pasado, estas decisiones suponían que las condiciones climáticas futuras tendrían las mismas características y variabilidad que las condiciones del pasado, sin considerar los cambios climáticos que pudieran presentarse. Por tanto, el reto es incorporar la incertidumbre del cambio climático en la administración del agua. Particularmente, es de relevancia estimar el impacto del cambio climático en los cambios del régimen de escurrimiento de los ríos y la vulnerabilidad que ello implica en los sistemas hidrológicos y de uso del agua.

Como se mencionó en el Capítulo 5, la cuenca Grijalva-Usumacinta, en el sureste de México, es una de las zonas ecológicas con más alta diversidad biológica y cultural del territorio mexicano. La región hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta comprende un área total de 92,460.37 km², y la disponibilidad media anual de las aguas nacionales no comprometidas asciende a 99,642.58 hm³; de los cuales 53,742.67 hm³ corresponden al río Grijalva y de 45,899.91 hm³ al río Usumacinta y Laguna de Términos (DOF, 2013).

Algunos de sus más relevantes rasgos geomorfológicos y climáticos, macizos centrales, cadenas montañosas y depresiones sujetas a precipitaciones torrenciales, dieron lugar al nacimiento de dinámicos sistemas fluviales, cuyas corrientes se precipitan hacia el litoral, desde alturas superiores a los 4,000 msnm, después de largos y sinuosos recorridos, acarreando ricas tierras aluviales y formando las mayores planicies costeras de la vertiente del Golfo de México. Este inmenso trabajo de la naturaleza es obra de los ríos que integran la compleja cuenca del Grijalva-Usumacinta. Todos estos mecanismos regulados por el ciclo hidrológico concentran en la cuenca el 30% de los escurrimientos de los ríos de México (147 km³/año).

La precipitación de la región es la mayor del país y una de las más altas del mundo. Su media anual es de 1,751 mm, mucho mayor al promedio nacional de 770 mm. En la Sierra de Chiapas y en la Sierra de la Lacandona, las lluvias sobrepasan en algunos lugares los 4,000 mm al año y llegan hasta los 5,000 mm, mientras que en la zona costera del norte promedia 2,093 mm al año y alcanza los 2,750 mm.

La infraestructura hidráulica consiste de tres distritos de temporal tecnificados (la Sierra, Zanapa-Tonalá y Margaritas-Comitán: 181,000 ha); dos complejos agroindustriales (Plan Chontalpa y Plan Balancán-Tenosique: 206,800 ha); 3,505 unidades de producción rural de riego (Unidades de Riego para el Desarrollo Rural -URDERALES-: 16,380 ha); dos distritos de drenaje (la Sierra y Zanapa-Tonalá: 139,000 ha); tres distritos de riego (Río Blanco, Cuxtepeques y San Gregorio: 28,056 ha); y seis presas (La Angostura, Chicoasén, Malpaso, Peñitas, Bombana y Schpoina) con una potencia de generación de energía de aproximadamente 3,900 MW.

Cuenca del río Grijalva

La cuenca transfronteriza del río Grijalva, que nace en Guatemala y cruza principalmente el estado de Chiapas, forma parte de la Región Hidrológica-Administrativa XI, denominada Frontera Sur. Orográficamente se sitúa en la Depresión Central de Chiapas en una extensa zona semiplana bordeada por la Sierra Madre, los Altos y las Montañas del Norte de Chiapas.

El principal usuario del río Grijalva es el sector hidroeléctrico, toda vez que en esta cuenca se ubica el sistema hidroeléctrico más importante de México. En la cuenca se han construido cuatro grandes presas, enlistadas por orden histórico de construcción: Malpaso (Netzahualcóyotl), La Angostura (Belisario Domínguez), Chicoasén (Manuel Moreno Torres) y Peñitas (Ángel Albino Corzo); todas ubicadas en la Unidad Hidrológica (UH) del Alto Grijalva. El área total de drenaje hasta la presa Peñitas es de 31,112 km². La cuenca se divide en cuatro subcuencas, cada una representa el área de drenaje de las centrales hidroeléctricas (Mapa 7.1).

Mapa 7.1. Sistema hidroeléctrico en el Alto Grijalva.



El control de los ríos para regular avenidas y generar energía fue objeto de un vasto programa que contempló la construcción de presas gigantes en varios puntos del Alto Grijalva. En una primera etapa, este programa se propuso el control y la regulación del sistema del río Grijalva. Los proyectos para el sistema del Usumacinta quedaron para una segunda etapa; sin embargo, no se han construido por razones sociales, como se explicará en el siguiente apartado. En cuanto a la cuenca del río Grijalva, se construyeron cuatro grandes presas: La Angostura (la más grande del país), Chicoasén, Malpaso (la segunda más grande) y Peñitas. De éstas, sólo La Angostura y Malpaso fueron diseñadas para regular avenidas. En cuanto a la generación de energía, la capacidad instalada de las presas corresponde al 40%, aproximadamente, de la capacidad hidroeléctrica nacional, y al 52% de la energía generada por las plantas hidroeléctricas del país (Cuadro 7.1) (Hernández de la Torre, 2009).

Estas gigantescas trampas de azolve afectaron drásticamente el enorme potencial de acarreo de sedimentos y formación de suelos del sistema Grijalva. Su capacidad para inundar y fertilizar las llanuras costeras, los humedales, las lagunas y la rica zona litoral adyacente se vio bruscamente interrumpida. Estos desequilibrios se reflejaron pronto en los balances de la zona fluvio-marina y en la estabilidad del frente costero. La dinámica de las corrientes litorales, de los vientos y las tormentas tropicales prevalecieron sobre la acción compensadora de las descargas fluviales. Playas y barreras arenosas han sufrido, desde entonces, intensos procesos erosivos y se encuentran en franco estado de regresión. El dominio de las aguas marinas propició la salinización de suelos y los

Cuadro 7.1. Datos principales de las hidroeléctricas del sistema del Alto Grijalva.

Presa	Año de construcción	NAMO [msnm]	NAME [msnm]	Volumen útil máximo [Mm³]	Área de drenaje [km²]
Malpaso	1964	182.5	188	9,317	9,211
La Angostura	1975	533	539.5	13,170	13,046
Chicoasén	1980	392.5	395	216	7,597
Peñitas	1987	87.4	95.5	130	1,258

Presa	Precipitación media anual [mm]	Volumen de escurrimiento [mm³]	Capacidad efectiva [MW]	Generación bruta [GWh]
Malpaso	1,407	8,926	1,080	4,220
La Angostura	2,244	28,184	900	3,297
Chicoasén	1,393	7,516	2,400	6,682
Peñitas	2,569	2,170	420	1,967

cambios en el patrón de sedimentación se reflejaron en el descenso de ricas pesquerías litorales, como las del ostión, que se practica en lagunas costeras que eran las zonas de reproducción natural más importante del Golfo de México.

Cuenca del río Usumacinta

De todas las cuencas fronterizas, la del río Usumacinta es la de mayor extensión y desarrollo hidrológico. Esta cuenca abarca una superficie de más de 73,000 km², el equivalente a casi la de todo el estado de Chiapas, quedando el 58% en territorio de Guatemala y el resto en México (Cuadro 7.2).

Dentro de la cuenca del Usumacinta se ubica la región de la Selva Lacandona en México, los Cuchumatanes, los Altos de Guatemala y una buena parte del Petén guatemalteco (Mapa 7.2). La cuenca tiene una impresionante red hidrológica, resultado de ubicarse en una de las regiones con más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica y por un relieve complejo, sobre todo en las partes altas y medias en México, así como en las cabeceras en los Altos de Guatemala.

El río Usumacinta presenta el caudal más importante de toda Mesoamérica y, excepto por una represa construida por Guatemala en el río Chixoy, que tuvo grandes costos sociales y ambientales, su caudal se mantiene aún sin alteraciones por infraestructura humana. Con el caudal del río Usumacinta ha sido estimada la generación de hasta 1,850 MW; por ello, desde la década de los años setenta, la cuenca del Usumacinta ha sido evaluada en su porción mexicana por su potencial hidroeléctrico, tanto en sectores de la

Cuadro 7.2. Distribución de la cuenca del Río Usumacinta.

País	Estado	Área [km²]	%	
México	Chiapas	21,757	29.7	42.1
	Tabasco	7,245	9.9	
	Campeche	1,780	2.4	
Guatemala	-	42,413	57.9	
TOTAL		73,195	100	

Mapa 7.2. Cuenca del Río Usumacinta.



cuenca media como sobre el propio río, considerando al menos 19 puntos para construir diques. Igualmente, se han realizado numerosas evaluaciones de los costos ambientales, sociales y económicos que tendría la instalación de represas en el Usumacinta, pero hasta la fecha hay una gran resistencia social por el desarrollo de estas represas, ya que afectaría tierras de un número muy importante de pobladores, principalmente indígenas (el Capítulo 4 se refiere al potencial hidroeléctrico y al portafolio de posibles proyectos futuros para la región).

Una estimación del impacto por la instalación de una represa en el sitio de Boca del Cerro en Tabasco, al terminar el llamado Cañón del Usumacinta, reveló que el embalse cubriría bajo las aguas a todos los sitios arqueológicos mayas más importantes del Usumacinta medio, incluyendo Piedras Negras y Macabillero, en el lado de Guatemala, y Yaxchilán en la parte mexicana. Además, Boca del Cerro daría como resultado inmediato la destrucción y pérdida de la periferia de Chinikihá, Chiapas, un importante, aunque aún no excavado centro maya, ubicado a cierta distancia del banco occidental del Usumacinta, en un valle tributario que lleva el mismo nombre que las ruinas (Stuart y Morales, 2013).

La pérdida irreversible de sitios arqueológicos de valor excepcional causó que el proyecto de Boca del Cerro haya sido frenado en diversas ocasiones. Además, su construcción no mantenía una distribución equitativa de los costos y beneficios entre México y Guatemala, ya que este último país recibiría la mayor parte de las 195,000 hectáreas que se inundarían, mientras que México se beneficiaría económicamente con la generación de electricidad (Stuart y Morales, 2013).

El establecimiento de represas hidroeléctricas sobre el río Usumacinta afectaría la conectividad de los sistemas hidrológicos de la cuenca y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, así como a una serie de especies de gran importancia, incluyendo algunas amenazadas o en peligro de extinción, por lo que requieren de esta conectividad para mantener la salud de sus poblaciones; tal es el caso del manatí, del cocodrilo y de la tortuga blanca. Diversos estudios han demostrado que los costos no justifican la construcción de estas represas y plantean el gran potencial que tiene esta cuenca bajo modelos de desarrollo que se orienten a la sustentabilidad (Capítulo 4).

7.2.2 Problemática principal

Las condiciones impuestas por el ciclo hidrológico y la pérdida de suelos por erosión hídrica extrema y muy extrema afectan al 89% del territorio de Tabasco y al 83% de Chiapas, además de alcanzar valores de pérdidas de suelos mayores a las 500 ton/ha/año. La erosión hídrica es especialmente crítica en la Sierra Madre de Chiapas, en los Altos de Chiapas y en las montañas marginales del norte, donde los valores van de severos a extremos (mayores a 100 ton/ha/año); mientras que en la Selva Lacandona, Valles Centrales y Malpaso es severa y alta (de 25 a 100 ton/ha/año), provocada y acelerada por los intensos procesos de deforestación que ocasiona la erosión de laderas, frecuentes derrumbes y caídas de árboles que obstruyen el flujo del agua y provocan taponamientos e inundaciones.

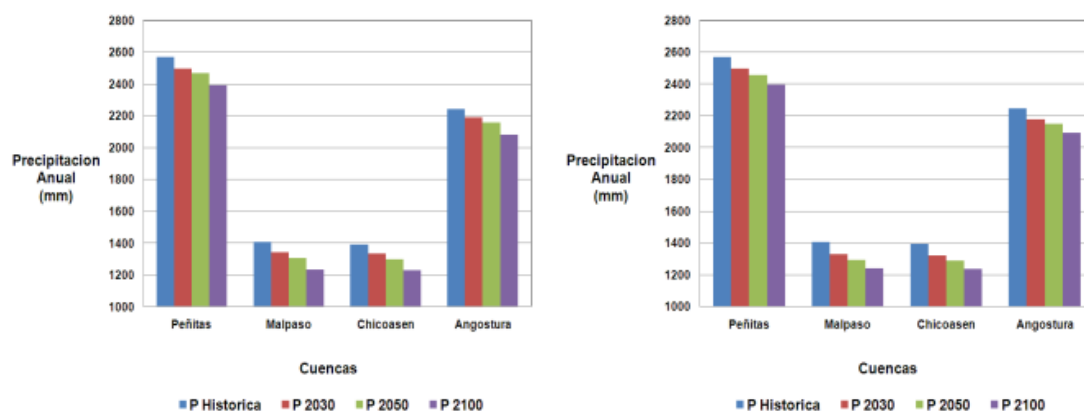
En relación a las inundaciones, se estiman problemas críticos en aproximadamente 10,500 ha de la planicie costera, especialmente en la zona central de Tabasco y en las

llanuras del Usumacinta, cuyas consecuencias catastróficas se ven magnificadas por el crecimiento sin planeación de cientos de comunidades rurales y por el crecimiento explosivo de las periferias urbanas en zonas de alto riesgo: áreas bajas, planicies inundables e incluso, dentro de los cauces y los vasos de presas, lo que ha obligado a realizar muy costosas, y a veces inútiles, obras de defensa (ver Sección 7.3).

7.2.3 Estudios previos

En relación a los efectos del cambio climático en la cuenca del Grijalva, se estima que la precipitación anual tenderá a disminuir en las cuatro cuencas, como se muestra en la Figura 7.1. Las láminas anuales de precipitación presentan una gran variación entre las subcuencas; en Peñitas, por ejemplo, existen valores de 2,500 mm, mientras que en Malpaso y Chicoasén, la precipitación es de 1,400 mm. El correspondiente decremento en escurrimiento superficial se estimó hasta en un 19% hacia finales de siglo (IMTA, 2010).

Figura 7.1. Efectos de la precipitación anual en el Alto Grijalva (escenarios A1B y A2).



Dadas las altas precipitaciones, no se presentan retos en cuanto al suministro de agua para las poblaciones. Sin embargo, a pesar de los altos volúmenes de escurrimiento superficial, existen problemas de contaminación del agua. Los ingenios azucareros, las industrias alimenticias y la industria petrolera aportan una cantidad considerable de contaminantes al sistema hidrológico regional. El problema es que un alto número de descargas no son registradas y aforadas, por lo que los datos sobre los volúmenes y la calidad de las mismas son inconsistentes y erráticos. Pero, en general, la infraestructura de tratamiento y vertido de aguas residuales en la región es insuficiente e ineficiente (CONAGUA, 2008).

La infraestructura hidro-agrícola presenta en la actualidad una gama amplia de problemas críticos: todos los distritos de riego requieren de rehabilitación y modernización de sus estructuras básicas; los equipos existentes se encuentran en mal estado físico por haber rebasado su vida útil; los niveles de azolve de las presas han acortado sensiblemente los periodos de sus vidas útiles porque no existen programas de desazolves y por las dificultades financieras que enfrentan sus programas de mantenimiento.

7.2.4 Cambios en el escurrimiento superficial

Para la estimación de los escurrimientos superficiales a futuro, se utilizara el método denominado indirecto dentro de la Norma Oficial Mexicana: Conservación del recurso agua, NOM-011-CNA-2000 (CNA, 2000), que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de aguas superficiales en una cuenca hidrológica. En dicha Norma, el volumen anual de escurrimiento (m^3) se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 1} \quad V=P \cdot A \cdot Ce$$

Donde:

V: Volumen de escurrimiento anual (Mm^3)

P: Precipitación anual (mm)

A: Área de la cuenca (km^2)

Ce: Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

En la NOM-011-CNA-2000, la variable a modificar es la precipitación anual (P), de acuerdo con la base de datos histórica CRU y los escenarios de cambio climático RCP4.5, RCP 6 y RCP 8.5 utilizados en este estudio (Capítulo 6). De esta manera, se obtuvieron los nuevos escurrimientos impactados por el escenario de cambio climático.

Coeficientes de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento depende del tipo y uso del suelo, así como de la precipitación media anual. Respecto al tipo, se utilizó el mapa de suelos dominantes de la República Mexicana, elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) mediante la generalización de las cartas edafológicas escala 1:1'000,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y actualizado con la versión del sistema de clasificación FAO/UNESCO/ISRIC (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación / Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura / Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). La información que se presenta es a nivel de unidades y subunidades de suelo.

La clasificación hidrológica de los suelos realizada por INEGI divide a los suelos en cuatro grupos:

- Tipo A. Suelos de gravas y arenas de tamaño medio, limpias y mezclas de ambas: generan el menor escurrimiento.
- Tipo B. Suelos de arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena y limo: generan escurrimiento inferior al medio.
- Tipo C. Suelos de arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezcla de arena, limo y arcilla: generan escurrimiento superior al medio.
- Tipo D. Suelos arcillosos de alta plasticidad, con sub-horizontes casi impermeables cerca de la superficie: generan el mayor escurrimiento.

Por un lado, para la construcción del escenario base, se utilizó la cobertura vegetal publicada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (1988). Este mapa presenta una agrupación de las 244 clases de uso del suelo y vegetación del mapa de INEGI-INE (1996) a escala 1:1'000,000, reduciéndose a 54 clases. Los mapas de tipos de suelos y cobertura vegetal se exportan como mapas rasters con una resolución espacial de 100 m. Finalmente, se obtuvo un valor ponderado del parámetro de infiltración K y el respectivo coeficiente de escurrimiento anual (CNA, 2000). Los coeficientes de escurrimiento anual se calcularon como sigue:

Ecuación 2 Si $K \leq 0.15$
Ecuación 3 Si $K > 0.15$

Donde:

K: Parámetro de infiltración (adimensional)

P: Precipitación media anual (mm)

Índices de escurrimiento por cambio climático

Con el propósito de identificar espacialmente las regiones más vulnerables, es decir, donde los cambios en precipitación y escurrimiento serán más severos, se propone la evaluación del Índice de Escurrimiento Superficial (IES), evaluado a nivel sub-cuenca y definido como:

Ecuación 4 $IESCC = 1 - VESCCVESH$

Donde:

IES_{cc} : Índice de escurrimiento superficial ante el cambio climático (adimensional)

VES_H : Volumen de escurrimiento superficial histórico ($hm^3/año$)

VES_{cc} : Volumen de escurrimiento superficial ante el cambio climático ($hm^3/año$)

Los volúmenes de escurrimiento, en la Ecuación 4, se determinan por medio de la Ecuación 1. Para fines prácticos, el IES representa la fracción en la cual disminuye el escurrimiento medio anual en relación al volumen histórico. Un valor de cero en el IESCC representaría un cambio nulo en el volumen, mientras que un valor de 0.10 indicaría una reducción del 10%. Los registros históricos permiten evaluar una condición base o inicial; la evaluación de diferentes escenarios de tiempo futuro permiten evaluar las nuevas condiciones, y la diferencia en ambas significa el cambio que se pronostica en el futuro.

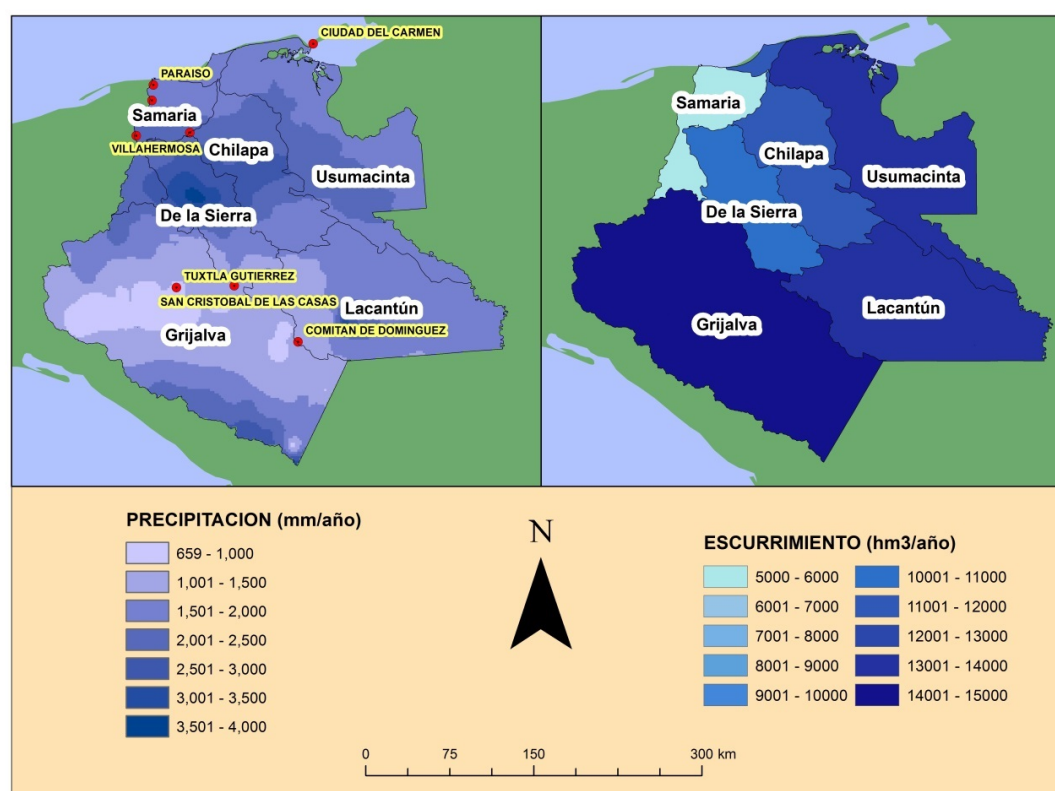
Resultados

En la región Grijalva-Usumacinta existen grandes variaciones en el relieve que los MCG son incapaces de resolver. De esta manera, todos los procesos de convección forzada que producen intensas precipitaciones están ausentes de la física explícita usada en estos modelos. Los resultados del *Coupled Model Intercomparison Project Phase 3* (CMIP3) y el *Reliability Ensemble Averaging* (REA) del CMIP5 muestran aumentos similares de temperatura, entre 1.5 y 5°C de mediados a finales de siglo bajo los escenarios de bajas (B1 y RCP 4.5) y altas (A2 y RCP 8.5) emisiones, respectivamente. En términos generales, se esperan reducciones de precipitación media anual en todo México, aunque la incertidumbre es muy alta. El Mapa 7.3 muestra las condiciones históricas anuales en las subregiones bajo estudio.

De manera particular, bajo el escenario de emisiones RCP 4.5, la lluvia disminuye en la región Grijalva-Usumacinta como consecuencia del cambio climático. El máximo relativo de junio disminuye más que el observado en septiembre. Además de lo anterior, es notoria la intensificación de la sequía de medio verano. Mientras que bajo el escenario de emisiones RCP 8.5, la disminución de la precipitación mensual en la época de lluvias se acentúa, observándose disminuciones de alrededor de los 30 mm/mes. Esta disminución es más marcada en los meses de julio y agosto. En el mismo periodo, el incremento de temperatura es extremo, sobrepasando los cuatro grados en gran parte del año. Los cálculos del escurrimiento se realizaron considerando la NOM-011-CNA-2000 y los resultados de los MCG.

El Cuadro 7.3 resume los resultados del estudio hidrológico para el futuro cercano (2015-2039) y muestra los decrementos proyectados para los escenarios RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5, los cuales son: 3.2, 0.9 y 3.6%, respectivamente. Mientras que para el

Mapa 7.3. Condiciones históricas anuales para precipitación y escurrimiento.



Cuadro 7.3. Condiciones hidrológicas históricas y esperadas para el futuro cercano, 2015-2039 (escala anual).

Subcuenca	Área [km²]	Condiciones históricas		RCP 4.5		RCP 6		RCP 8.50	
		PP ¹ [mm]	Volumen [hm³]	PP ¹ [mm]	Volumen [hm³]	PP ¹ [mm]	Volumen [hm³]	PP ¹ [mm]	Volumen [hm³]
Samaria	4,515.8	2,101	5,762.17	2,071	5,613.07	2,095	5,731.22	2,068	5,601.68
Lacantún	17,000.8	1,649	13,679.07	1,620	13,255.64	1,643	13,578.34	1,614	13,162.93
De la Sierra	7,305.7	2,350	10,841.02	2,322	10,613.41	2,346	10,803.98	2,319	10,584.99
Chilapa	9,576.6	2,181	11,669.19	2,157	11,418.34	2,183	11,664.13	2,146	11,315.85
Usumacinta	16,093.0	1,925	13,050.94	1,898	12,694.14	1,920	12,961.03	1,888	12,574.33
Grijalva ²	31,112.4	1,393	14,080.44	1,367	13,305.05	1,393	13,742.76	1,369	13,337.14
Total =	85,604.3	1,751	69,082.8	1,724	66,899.64	1,748	68,481.47	1,720	66,576.93

NOTAS: 1 PP = precipitación; 2 Incluye las siguientes subcuencas: La Angostura, Peñitas, Chicoasén y Netzahualcóyotl.

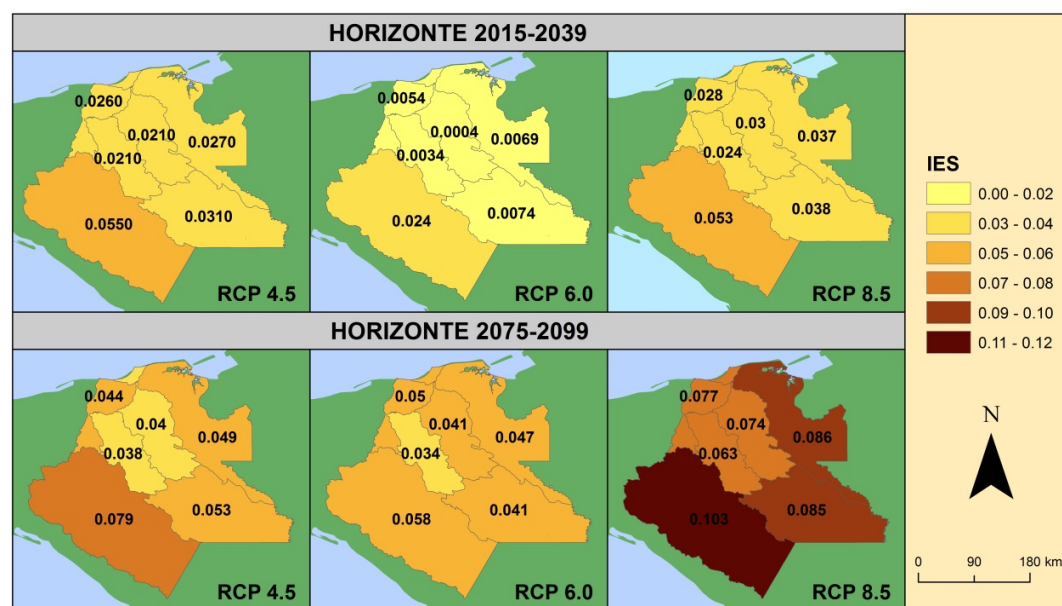
futuro lejano (2075-2099), las reducciones de escurrimiento esperadas son del 5.2, 4.5 y 8.3% para los mismos escenarios RCP (Cuadro 7.4). El Mapa 7.4 muestra los IES relacionados con la Ecuación 4 correspondientes a los horizontes de tiempo y escenarios de cambio climático.

Cuadro 7.4. Condiciones hidrológicas históricas y esperadas para el futuro lejano, 2075-2099 (escala anual).

Subcuenca	Área [km ²]	Condiciones históricas		RCP 4.5		RCP 6		RCP 8.50	
		PP ¹ [mm]	Volumen [hm ³]	PP ¹ [mm]	Volumen [hm ³]	PP ¹ [mm]	Volumen [hm ³]	PP ¹ [mm]	Volumen [hm ³]
Samaria	4,515.8	2,101	5,762.17	2,049	5,507.76	2,042	5,474.71	2,009	5,319.51
Lacantún	17,000.8	1,649	13,679.07	1,598	12,947.71	1,610	13,114.75	1,567	12,510.63
De la Sierra	7,305.7	2,350	10,841.02	2,301	10,433.98	2,305	10,471.45	2,266	10,154.10
Chilapa	9,576.6	2,181	11,669.19	2,133	11,199.72	2,133	11,193.98	2,090	10,799.89
Usumacinta	16,093.0	1,925	13,050.94	1,874	12,416.15	1,876	12,435.52	1,833	11,931.25
Grijalva ²	31,112.4	1,393	14,080.44	1,347	12,966.68	1,365	13,270.53	1,327	12,634.74
Total =	85,604.3	1,751	69,082.8	1,702	65,472.00	1,712	65,960.94	1,671	63,350.12

NOTAS: 1 PP = precipitación; 2 Incluye las siguientes subcuencas: La Angostura, Peñitas, Chicoasén y Netzahualcóyotl.

Mapa 7.4. Índices de Ecurrimiento Superficial.



El estudio “Evaluación de la vulnerabilidad del sistema de presas del río Grijalva ante los impactos del cambio climático” desarrollado para este estudio (Anexo 7B) contiene los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad del sistema de presas, llevando a cabo el análisis de las corridas de los modelos de cambio climático tanto para el futuro cercano (2015-2039) como futuro lejano (2075-2099) de los escenarios RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 del Quinto Reporte (AR5) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Los escenarios se caracterizaron con la precipitación en porcentaje de la lluvia anual y las anomalías de las temperaturas en °C, estos resultados se regionalizaron de acuerdo con las cuencas de las presas Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas. Se realizaron las simulaciones con los nuevos escenarios de cambio climático para incrementos de temperatura y anomalías de la lluvia media anual, definiendo un escenario base con los datos históricos de lluvia y temperatura mensual de 1981 a 2007, con el cual se calibró el modelo de simulación WEAP. Una vez calibrado el modelo se realizaron las corridas correspondientes con las variaciones del porcentaje de la lluvia anual, de la temperatura promedio y de las dos variables en conjunto. El escenario con impacto mayor en la disminución de la generación hidroeléctrica es en el futuro lejano (2075-2099) RCP 8.5 Tprom + lluvia, proyectando en promedio apenas ≈81% de la generación base en cada cuenca.

Una comparación de resultados entre los resultados de los escenarios AR4 y AR5 tomó sólo como referencia el efecto de los decrementos en la lluvia media anual y los aumentos en la temperatura promedio sobre la generación de energía hidroeléctrica y los volúmenes escurridos. Es importante mencionar que la comparación no es completamente consistente, ya que el estudio de González *et al.* (2009) proyecta los resultados al 2050 y el presente documento lo hace para el periodo 2075-2099. En el AR4-A1B el incremento en la temperatura promedio no supera los 2°C y para el AR5 futuro lejano RCP 8.5 se calculó un incremento superior 5°C (en Peñitas). En el caso de la precipitación se estimó una disminución de la lluvia media anual de 6.7% en promedio para el AR4-A1B y de 4.7% para el escenario AR5 futuro lejano RCP 8.5.

Además de lo anterior, se realizó un análisis de los efectos de la deforestación en el escurrimiento. En los resultados se observó que aún en los casos en que hay un decremento en la lluvia hay un incremento del escurrimiento, esto se podría explicar por un aumento en la deforestación tal como lo sugiere Coe *et al.* (2011). Es necesario ampliar el análisis para precisar los factores que explican esos incrementos en el escurrimiento superficial.

Entre las dos conclusiones más importantes del estudio se señala que, en todos los casos, las reducciones de generación hidroeléctrica y volumen de escurrimiento son mayores

en el escenario del futuro lejano RCP 8.5 (AR5) y que el volumen de escurrimiento resulta más sensible a una disminución de la lluvia media anual que a los incrementos de las temperaturas.

7.2.5 Comparación de los resultados obtenidos utilizando modelos hidrológicos tipo lluvia-escorrentía

Como fue descrito en secciones anteriores el procedimiento utilizado para evaluar el impacto del cambio climático sobre la hidrología superficial en las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, sigue la norma NOM-011-CNA-2000 (CNA, 2000), que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de aguas superficiales en una cuenca hidrológica. En esta metodología se utiliza un intervalo de tiempo anual y un parámetro de infiltración para cada región de la cuenca. Por este motivo, se consideró conveniente aplicar modelos hidrológicos tipo lluvia-escorrentía, a nivel mensual y con más detalle en cuanto al número de subcuencas para verificar los resultados de la metodología utilizada, siguiendo la norma NOM-011-CNA-2000, identificada como IMTA.

A los fines de lograr los objetivos de esta comparación se seleccionaron dos subcuencas muy importantes que conforman este complejo hidrológico:

- *Subcuenca del río Lacantún.* El río Lacantún es uno de los principales tributarios del río Usumacinta, con una cuenca, hasta la estación hidrométrica de Aguas Verdes (cerca de su confluencia con el río Usumacinta), que tiene una superficie de 19,000 km². La mayor parte de la cuenca del río Lacantún hasta su confluencia con el río Usumacinta, se ubica en territorio mexicano, y representa cerca del 50% de la parte mexicana de la cuenca total del río Usumacinta. El detalle de la aplicación del modelo hidrológico mensual a esta cuenca se describe en el Anexo 7A. En el Cuadro 7.5 se muestra un resumen de la comparación de los resultados obtenidos con la metodología aplicada por el IMTA y con la aplicación del modelo hidrológico tipo lluvia escorrentía (MH). En este cuadro, el escenario futuro cercano (FC) corresponde al período 2015-2039 y el futuro lejano (FL) corresponde al período 2075-2099.

Cuadro 7.5. Reducción porcentual del caudal medio del río Lacantún en Aguas Verdes II (%).

Escenarios	MH	IMTA
FC 4.5	5.8	3.1
FC 6.0	5.8	0.7
FC 8.5	5.8	3.8
FL 4.5	3.3	5.3
FL 6.0	6.5	4.1
FL 8.5	11.9	8.5

- *Subcuenca del río Grijalva hasta la presa Peñitas.* Los resultados de esta aplicación se muestran en el Anexo 7B, que corresponde a la “Evaluación de la vulnerabilidad del sistema de presas del río Grijalva ante los impactos del cambio climático”. En este estudio, como se mencionó anteriormente, se llevó a cabo un análisis detallado sobre los escenarios de cambio climático y su impacto sobre la generación de escurrimientos en las cuencas tributarias a los cuatro embalses que conforman el complejo hidroeléctrico del río Grijalva, y sobre la generación futura de la energía hidroeléctrica. Sin embargo, a diferencia de los análisis realizados en la cuenca del río Lacantún, usando modelos hidrológicos en todas las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta con la metodología del IMTA, los resultados no se presentan para los valores promedios del cambio climático de los periodos 2015-2039 (FC) y 2075-2099 (FL), sino para los años extremos de dichos periodos, es decir, 2039 y 2099. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 7.6. A manera ilustrativa, en el citado estudio se lleva a cabo un análisis para el escenario FL RCP 8.5, considerando los valores promedios del cambio climático en el periodo 2075-2099, el cual arroja un resultado de una reducción del 14.5 % que es similar a la obtenida para los valores del año 2099, que alcanza el 15.1 %.

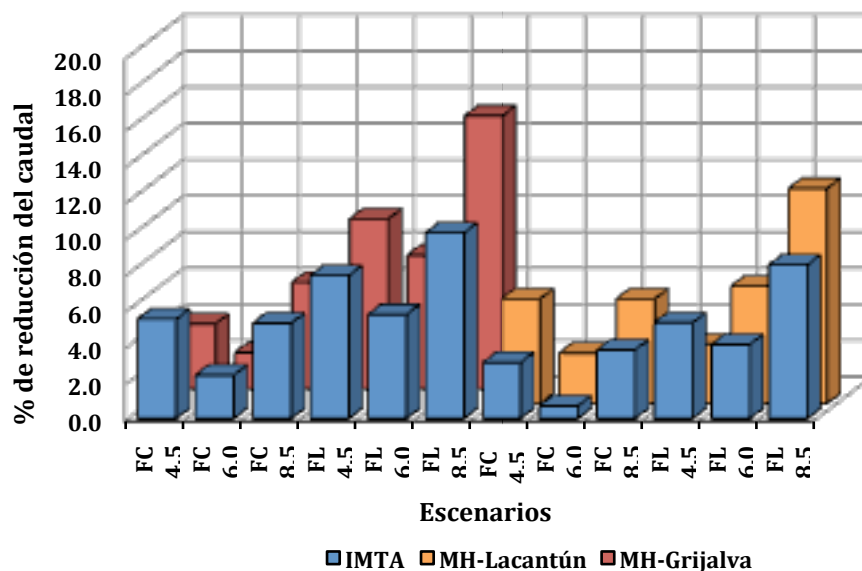
Cuadro 7.6. Reducción porcentual del caudal medio del río Grijalva a nivel de la presa Peñitas (%).

Escenarios	MH	IMTA
FC 4.5	3.6	5.5
FC 6.0	2.0	2.4
FC 8.5	5.9	5.3
FL 4.5	9.4	7.9
FL 6.0	7.4	5.8
FL 8.5	15.1	10.3

Finalmente, a manera de resumen, en la Figura 7.2 se incluye una comparación de los resultados obtenidos con la metodología del IMTA y la aplicación de modelos hidrológicos tipo lluvia-escurrimiento en las subcuencas de los ríos Grijalva y Lacantún.

Analizando los resultados mostrados en la Figura 7.2, se concluye que aquellos obtenidos por medio de la metodología del IMTA son similares (del mismo orden de magnitud) a los estimados utilizando modelos hidrológicos tipo lluvia-escurrimiento, que incluyen la subdivisión en subcuencas, calibraciones respecto a la información hidrométrica disponible y un intervalo de tiempo mensual. En general, las diferencias absolutas están por debajo de los 3.5%, con excepción del escenario FL RCP 8.5 en la subcuenca del río Grijalva, donde alcanza los 4.8%.

Figura 7.2. Resumen de la comparación de los resultados obtenidos con la metodología del IMTA y la aplicación de modelos hidrológicos tipo lluvia-escurrimiento en las subcuencas de los ríos Grijalva y Lacantún.



7.2.6 Reflexiones

Los decrementos en escurrimiento anual estimados ante el cambio climático, requerirán el aprovechamiento de fuentes alternas de energía para complementar la actual generación de energía hidroeléctrica. El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 propone promover el uso eficiente de la energía, así como el aprovechamiento de fuentes renovables. De esta manera, se pretenden conciliar las necesidades de consumo de energía de la sociedad con el cuidado de los recursos naturales. México cuenta con un importante potencial en energías renovables.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene planeada la explotación de la energía eólica en la región del Istmo de Tehuantepec, mediante las centrales eólicas Oaxaca I, II, III y IV, y otros proyectos de autoabastecimiento; en total se pretenden integrar 1,897 MW de capacidad de generación. Dentro de este esquema se aplicará una estrategia de coordinación entre la generación eólica y la correspondiente a las centrales hidroeléctricas del Grijalva, es decir, que cuando exista producción eólica alta, se reducirá la generación en el sistema del Grijalva. Los planes de aprovechamiento de energía eólica necesitarán coordinarse con los decrementos en escurrimiento superficial estimados a presentarse con cambio climático. Dado que se proyecta una disminución en la generación hidroeléctrica, los volúmenes menores en las presas permitirán tener volúmenes para control de avenidas y proteger la ciudad de Villahermosa, en Tabasco, localizada aguas debajo de la presa Peñitas.

7.3 Impactos económicos y sociales

7.3.1 Introducción

Desde la perspectiva económica, los desastres asociados a fenómenos naturales forman parte del análisis de riesgo e incertidumbre inherentes al desarrollo de cualquier actividad económico-productiva. La economía suele encarar la incertidumbre existente a través de la adquisición de un seguro o el establecimiento de una política pública que dé respuesta a este tipo de amenazas. Lamentablemente, estas medidas han sido rebasadas por la magnitud de los desastres asociados a fenómenos naturales presentes y futuros a consecuencia del cambio climático.

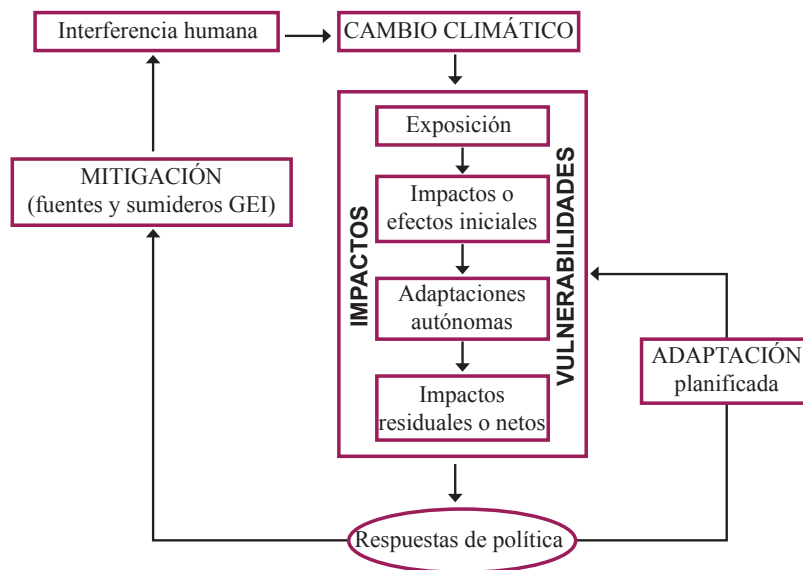
Los indicios científicos sobre la existencia del cambio climático son innegables, y sus consecuencias en el corto y mediano plazo no pueden ya ser revertidas. Es decir, la sociedad y las economías regionales sufrirán las secuelas inmediatas de estos cambios, los cuales se evidencian en América Latina en los años donde el fenómeno de El Niño se hace presente (WMO, 2007).

Para reducir la vulnerabilidad al cambio climático futuro, se requiere mayor información sobre los efectos económicos y sociales que sufrirá la región, ya que si bien hay medidas sobre los impactos y sus costos, éstos no son completamente entendidos, pues varios sectores solamente consideran los costos y beneficios en el corto plazo, y desconocen el potencial que tiene el cambio climático sobre la estabilidad del mundo como hoy lo conocemos (IDEAM-PNUD, 2007).

El presente trabajo enfoca su análisis en la planeación de la adaptación al cambio climático desde la perspectiva de las economías latinoamericanas. La intención es presentar los principales tópicos de discusión encontrados en la literatura sobre la adaptación, relevantes para el sistema de la cuenca Grijalva-Usumacinta y, de esta manera, presentar una metodología de evaluación y proyección de los costos del cambio climático para nuestras economías, así como los lineamientos de política necesaria para frenar los efectos. Como se mencionó en el Capítulo 2, la aproximación espacial del análisis emplea al municipio como medida de acercamiento a los impactos locales, dado que en México este nivel es el más detallado con información puntual.

El estudio parte de desarrollar un marco de análisis y definiciones, para luego presentar la metodología de evaluación de costos y una aplicación de la misma para el sector agrícola en los estados de Chiapas y Tabasco, según la caracterización de subregiones propuesta en el Capítulo 2, así como su posible aplicación a otras regiones y economías. Este estudio utiliza el marco conceptual planteado por el IPCC (2001), presentado en la Figura 7.3.

Figura 7.3. Ciclo de respuestas políticas sobre cambio climático.



Fuente: Tercer Reporte de Evaluación (IPCC, 2001).

7.3.1.1 Los desastres naturales y la economía del cambio climático

Existen fenómenos naturales, tales como terremotos, deslizamientos de suelo, tornados, huracanes, etc., que pueden constituir una grave amenaza para la población. Cualquiera de éstos puede resultar en un desastre de variadas proporciones, dependiendo del lugar donde ocurran. Los desastres asociados a fenómenos naturales pueden definirse como la destrucción parcial o total, transitoria o permanente, actual o futura, de un ecosistema, de vidas humanas, del medio y de las condiciones de subsistencia. Dichos desastres se presentan cuando se desencadena una fuerza o energía potencialmente destructiva (amenaza) en un medio caracterizado por condiciones de debilidad ante ésta, o por la incapacidad para reponerse de sus efectos (vulnerabilidad). La vulnerabilidad determina la intensidad del desastre, es decir, el grado de destrucción asociado al fenómeno (CEPAL, 2007).

La región ha experimentado importantes procesos de deterioro ambiental y pérdida de capital natural que reducen su resiliencia y la hacen altamente vulnerable ante la variabilidad climática, los eventos climáticos extremos y el cambio climático. La cuenca Grijalva-Usumacinta sufre una alta vulnerabilidad frente a los fenómenos hidrometeorológicos y al cambio climático, causas que serán abordadas en la siguiente sección.

La estructura de la sección partirá de analizar el impacto de los eventos climáticos extremos en la cuenca Grijalva-Usumacinta, utilizando información desarrollada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Comisión Económica

para América Latina y el Caribe (CEPAL). Posteriormente, se hace un análisis detallado de los impactos históricos en la cuenca y los relacionados con el evento climático extremo causante de las inundaciones en Tabasco en 2007, dando un rango de los daños máximos que se podrían esperar ante el paso de un evento de igual índole en la región. Finalmente, se presenta un estudio de caso de los impactos en la agricultura de los principales cultivos: maíz, frijol y café en Chiapas y Tabasco, por medio de un análisis a nivel municipal con la regionalización propuesta por este estudio (Capítulo 2). El uso de estos cultivos y de sistemas agrosilvopastoriles como estudios de caso, se debe a la importancia del maíz y del frijol para las economías de autoconsumo, donde las poblaciones indígenas los incluyen en su acervo cultural; y en el caso del café y de la producción ganadera, por su importancia estratégica para la conservación y manejo de la frontera agrícola en Chiapas y Tabasco.

7.3.1.2 El impacto de los eventos climáticos extremos en la cuenca Grijalva-Usumacinta

Si se analiza desde una perspectiva histórica el impacto de los fenómenos climáticos extremos en la región, se observa que en Chiapas, para el periodo 2000-2010, el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) registró 167 eventos climáticos extremos (Cuadro 7.7). De éstos, 20 fueron inscritos en la base del CENAPRED, de los cuales 14 están asociados a lluvias²³; mientras que en Tabasco, para el periodo 2003-2010, el SMN registró 130 eventos climáticos (Cuadro 7.8), de los cuales, 20 fueron inscritos en la base del CENAPRED, todos asociados a lluvias²⁴.

De estos eventos climáticos, el total de personas afectadas fue de 2,903,880 habitantes, mientras que los daños y pérdidas asociados fueron de casi 75 mil millones de pesos (mdp). En promedio, esto significa que más de 290 mil personas al año resultan afectadas por eventos climáticos. Dicho número tenderá a incrementarse por dos razones principales: 1) el efecto del cambio climático y 2) el aumento de la población en los polos de desarrollo de Chiapas y Tabasco.

Cuadro 7.7. Chiapas y Tabasco. Daños y pérdidas 2000-2010.

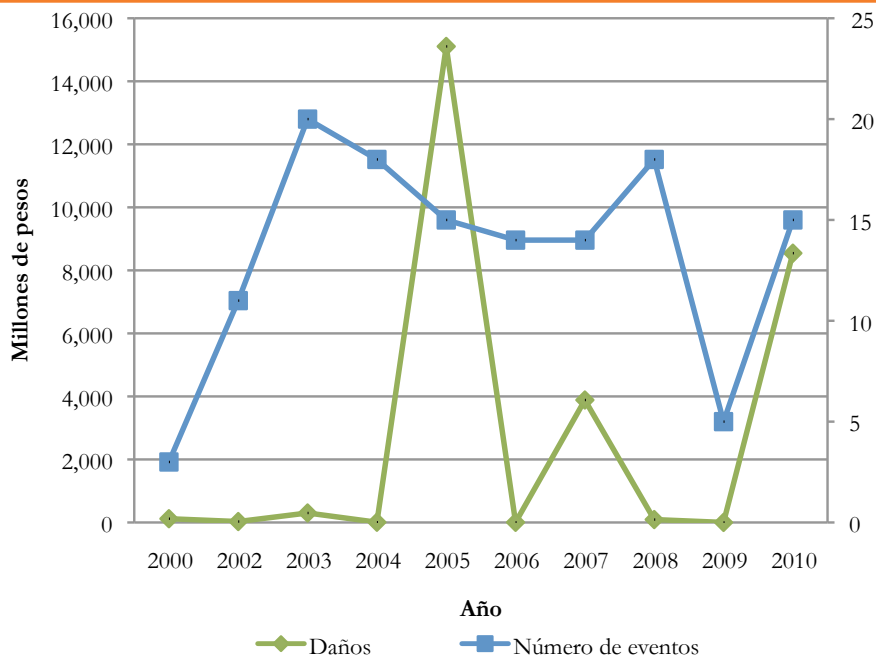
Estado	Habitantes afectados	Daños y pérdidas [mdp]
Chiapas	1,102,720	28,092.5
Tabasco	1,801,160	46,830.9
TOTAL	2,903,880	74,923.4

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CENAPRED

²³ Es importante que aunque el número de eventos fue el mayor en el periodo, durante ese año el CENAPRED no catalogó ningún evento como desastre, contingencia climatológica o emergencia.

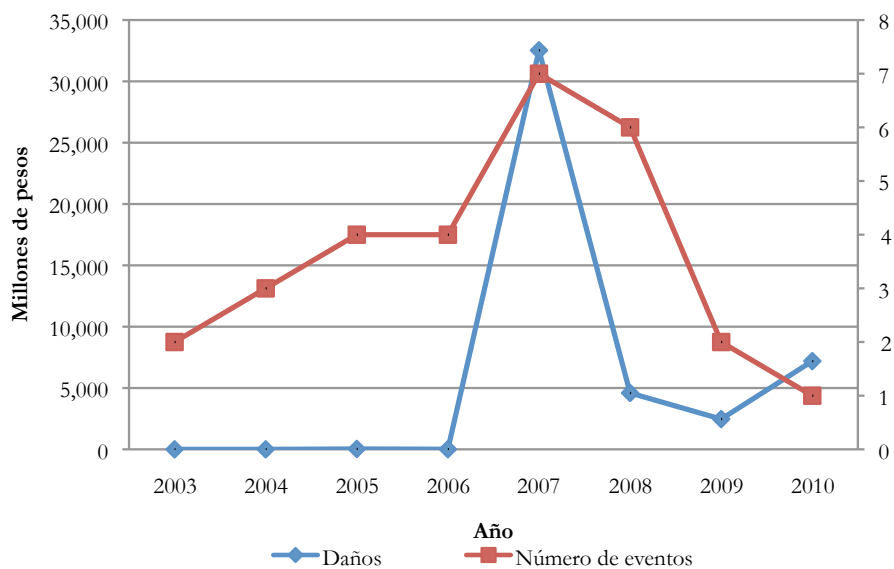
²⁴ Definiciones de eventos climáticos extremos considerados en los reportes:
http://www.funcionpublica.gob.mx/scagp/dgorcs/reglas/2002/otrosprogramas/completos/ro_fonden_2002%20.htm#AN2

Figura 7.4. Chiapas: Número de eventos extremos y daños asociados 2000-2010.



Fuente: Elaboración propia con base en información de CENAPRED.

Figura 7.5. Tabasco: Número de eventos extremos y daños asociados 2003-2010.



Fuente: Elaboración propia con base en información de CENAPRED.

Como se observa en las Figuras 7.4 y 7.5, los eventos extremos no tienen una tendencia estacional y su comportamiento es errático en el tiempo. Se presenta alta correlación entre los eventos y los daños asociados a éstos. Como se analizará en la siguiente sección, dicha relación puede ser explicada por los tipos de eventos, su duración, cantidad de lluvia, velocidad del viento, entre otros factores. Como se muestra en los Cuadros 7.8 y 7.9, el número de eventos varía de manera importante entre municipios.

Cuadro 7.8. Chiapas: Municipios con mayor número de eventos climáticos extremos.

Municipio	Número de eventos
Acapetahua	19
Ocozocuaul de Espinosa	15
La Condordia	11
Mapastepec	11
San Cristóbal de las Casas	11
Tapachula	11
Arriaga	9
Cintalapa	9
Chiapa de Corzo	9
Ocosingo	9
Palenque	9
Pichucalco	9
Pijijiapan	9
Suchiate	8
Villa Corzo	8

Fuente: CENAPRED, 2012.

Cuadro 7.9. Tabasco: Municipios con mayor número de eventos climáticos extremos.

Municipio	Número de eventos
Centro	15
Teapa	14
Paraíso	11
Cárdenas	11
Balancán	8
Cunduacán	8
Tacotalpa	8
Centla	7
Jalapa	7
Huimanguillo	6
Macuspana	6
Comalcalco	5
Nacajuca	5
Tenosique	5
Jonuta	5
Jalpa de Méndez	5
Emiliano Zapata	4

Como se mencionó en el análisis anterior, es posible explicar la cantidad de personas que son afectadas por eventos climáticos extremos por medio de un modelo de regresión. En el Cuadro 7.10 se presentaron los resultados de una estimación econométrica, que muestran la no linealidad entre la población afectada y los factores climáticos que intervienen en su determinación, así se observa que la lluvia tiene un efecto exponencial sobre la población afectada, mientras que la velocidad del viento y la duración de dichos eventos tienen un efecto lineal. Al analizar la estimación y la Figura 7.6, las lluvias, a partir de los 16 mm/día, ocasionan afectaciones a la población; lo mismo ocurre en rachas de viento superiores a los 50 km/h. La asociación entre lluvia y vientos ocasiona afectaciones superiores, potencializando su efecto devastador. Lluvias superiores a 79

mm/día tienen efectos catastróficos, como se puede observar en la Figura 7.6, donde la población afectada casi se duplica ante el incremento de lluvia en los rangos superiores a los 79 mm mencionados.

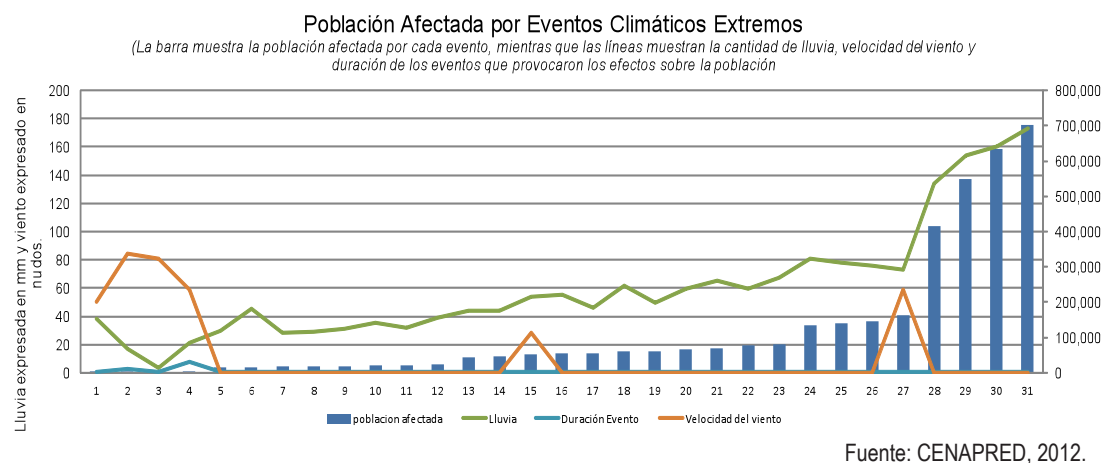
Cuadro 7.10. Estimación de población afectada y eventos extremos.

Variables	GLM Población afectada [hab]	Error estándar
Lluvia	1,433***	478.9
Lluvia cuadrado	18.11***	5.128
Velocidad del viento	492.5***	76.7
Duración del evento climático	319.2***	37.68
Latitud	-13,389***	1,900
Longitud	27,327***	3,303
Altura sobre el nivel del mar	4.842**	1.959
Constante	2.67E06***	307,242

***p<0.01; **p<0.05; *p<0.1

Nota: Método de estimación modelos lineales generalizados (GLM). Las variables lluvia y viento acumuladas en forma diaria.

Figura 7.6. Población afectada por eventos climáticos extremos.



Como se observa, el modelo econométrico permitiría anticipar los efectos de lluvias y vientos extremos si se tuvieran modelos climáticos que pronosticaran los comportamientos de estas variables. El desarrollo de dichos modelos por los climatólogos, permitirá predecir escenarios que permitirán considerar medidas de adaptación ante la cantidad de personas afectadas, las cuales pueden ser superiores a las capacidades de respuesta de los gobiernos de las regiones afectadas. Este es el caso del huracán “Noel” y el frente frío número cuatro, que superaron las expectativas y capacidad de respuesta de Tabasco en 2007. A continuación se analizan los efectos

de un evento extremo que supera las tendencias históricas de daño por catástrofes hidrometeorológicas.

7.3.1.3 Daños ocasionados y esperados por un evento climático extremo

En octubre de 2007, el frente frío número cuatro y la tormenta tropical “Noel” provocaron en Tabasco lluvias constantes que desencadenaron grandes inundaciones, lo que se tradujo en una situación de emergencia por su magnitud y gravedad, afectando al 75% de la población²⁵. Los daños y pérdidas asociadas a la emergencia se estimaron en 31.8 mil mdp, lo que representó 29.31% del producto interno bruto (PIB) estatal; el Cuadro 7.11 expone el impacto económico por sector. Como se pudo observar en la sección anterior, lluvias superiores a los 160 mm/día representan afectaciones a millones de personas en la región, siendo éste el caso de análisis del huracán “Noel”.

Cuadro 7.11. Tabasco: impacto económico de eventos extremos, 2007.

Sector	Descripción	Monto por daños y pérdidas [mdp]
Centros de población	89,671 viviendas afectadas: daños totales 9,057; daños parciales 29,860; daños menores 40,083; daños mínimos 10,671.	2,593
Agricultura y ganadería	93,319ha de cultivos dañadas 615,807ha de pastizales dañadas.	8,214
Acuacultura y pesca	Pérdidas en la producción por 222 mdp.	689
Comercio	Concentró la mitad de los daños de los sectores no agrícolas. Apoyos con microcréditos; diferimiento pago de impuestos.	5,296
Salud	Daños a 127 unidades de salud pública. Aumento de mortalidad: hipertensión primaria 142%; neumonía 89%; insuficiencia renal crónica 64%.	2,083
Vías de comunicación	Daños en 6,485km (73% de la red carretera).	3,925
Turismo	Daños en infraestructura hotelera, restaurantes, bares, centros nocturnos y desarrollos de ecoturismo.	589
Servicios urbanos ambientales	Principales daños: lagunas urbanas (35.1%), contaminación de agua (34.5%).	162.5
TOTAL		31,870

* Red carretera federal, estatal y municipal.

Fuente: CEPAL, 2007

²⁵ El 59% de la población en Tabasco vive en condición de pobreza de patrimonio. La pobreza de patrimonio, se refiere a la incapacidad de cubrir de forma simultánea los gastos de alimentación, educación y salud, así como las necesidades de básicas de vestido, calzado, vivienda y transporte público (CONEVAL, 2010).

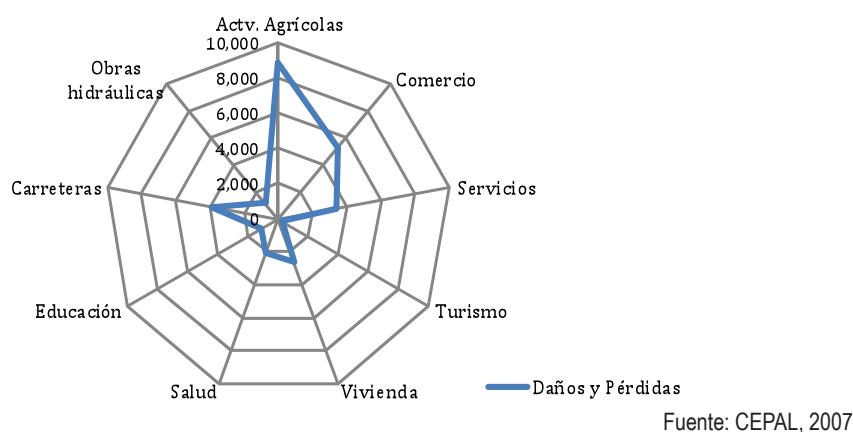
En la siguiente sección se analiza el impacto en los sectores económicos y sociales por el huracán “Noel”, contextualizando en los sectores en los cuales se cuenta con información histórica.

7.3.2 Impacto en sectores económicos

La estimación de los daños y pérdidas asociados se realizó con el método “Costo de Reposición”, usando como escala de análisis la información estatal reportada por el CENAPRED y el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), en el cual, el valor de las estimaciones corresponden a los valores mínimos para reponer los daños y pérdidas derivados del evento extremo.

Los eventos climáticos extremos tienen mayor incidencia en las actividades económicas agrícolas, comerciales y de servicios, seguidas por la infraestructura carretera y de vivienda (Figura 7.7). En la siguiente sección se analiza por sector los impactos provocados por los eventos climáticos extremos en el año 2007 para Tabasco.

Figura 7.7. Tabasco: daños y pérdidas por eventos extremos 2007.



7.3.2.1 Microempresas en hogares y actividades de traspatio

El impacto del fenómeno hidrometeorológico de 2007, en Tabasco, afectó 350,777 viviendas²⁶ (Cuadro 7.12), de las cuales, el 39% se localizaron en los municipios de Centro (96,054) y Cárdenas (41,680). Estos daños afectaron las actividades de 4,172 microempresas, mismos que rebasaron los 16 mdp, siendo los municipios más afectados:

²⁶ La afectación de viviendas comprende las que sufrieron algún tipo de pérdida o daños por el evento.

Centro (10.3 mdp), Macuspana (1.7 mdp) y Jalpa de Méndez (779 mil pesos). Las pérdidas²⁷ en actividades de microempresas a consecuencia del evento fueron de 26.3 mdp. Los municipios más afectados en cuanto a monto por pérdidas fueron: Centro (16.8 mdp); Nacajuca (2.7 mdp); Jalpa de Méndez y Cunduacán (1.3 y 1.2 mdp). Es importante señalar que las actividades de traspaso en las viviendas se vieron igualmente afectadas en casi todos los municipios, las cuales comprendían la engorda de aves de corral. La cuantificación por estos daños alcanzó la cifra de 4.5 mdp (Cuadro 7.13) en la zona afectada. Los municipios que más concentraron este tipo de daños fueron: Centro (17%), Jonuta (13%), Cunduacán (10%) y Nacajuca (8%).

7.3.2.2 Agricultura

Los daños y pérdidas de la producción agrícola se estimaron en 7,446 mdp. En Tabasco, los cultivos de ciclo corto, como el maíz, frijol y sorgo, concentran el 50% del área

Cuadro 7.12. Tabasco: población afectada, 2007.

Municipio	Total viviendas damnificadas	Habitantes afectados	% mujeres	Mujeres afectadas	% viviendas afectadas
Centro	96,054	393,821	51.39	202,392	27.38%
Cárdenas	41,680	170,888	51.01	87,175	11.88%
Comalcalco	32,452	133,053	50.71	67,477	9.25%
Huimanguillo	32,039	131,360	50.83	66,773	9.13%
Macuspana	22,545	92,435	50.76	46,918	6.43%
Centla	21,250	87,125	49.96	43,531	6.06%
Nacajuca	17,982	73,726	50.44	37,188	5.13%
Jalpa de Méndez	16,442	67,412	50.29	33,904	4.69%
Cunduacán	14,834	60,819	50.84	30,922	4.23%
Tenosique	10,981	45,022	51.08	22,999	3.13%
Teapa	9,452	38,753	50.65	19,629	2.69%
Paraíso	8,296	34,014	50.46	17,163	2.37%
Tacotalpa	7,259	29,762	50.39	14,998	2.07%
Emiliano Zapata	5,919	24,268	51.63	12,530	1.69%
Jalapa	5,719	23,448	50.19	11,769	1.63%
Jonuta	5,536	22,698	49.07	11,137	1.58%
Balancán	2,337	9,582	50.62	4,850	0.67%

Fuente: CEPAL, 2007; SIAP, 2012.

²⁷ El monto de las pérdidas se refiere a los ingresos que se dejaron de percibir durante un mínimo de tres meses debido al evento hidrometeorológico.

Cuadro 7.13. Tabasco: daños por actividad económica en viviendas, 2007.

Miles de pesos			
Municipio	Gallinas	Guajolotes	Total
Balancán	78.8	164.6	243.4
Cárdenas	72.0	27.8	99.8
Centla	150.2	127.5	277.7
Centro	495.0	276.7	771.7
Comalmalco	51.4	13.9	65.3
Cunduacán	364.1	101.1	465.2
Emiliano Zapata	93.0	197.0	290.0
Huimanguillo	61.6	27.1	88.7
Jalapa	125.1	199.8	324.9
Jalpa de Méndez	125.8	68.8	194.6
Jonuta	263.7	302.8	566.5
Macuspana	130.5	125.2	255.7
Nacajuca	263.5	80.9	344.4
Paraíso	97.9	31.3	129.2
Tacotalpa	75.3	119.8	195.1
Teapa	11.1	24.3	35.4
Tenosique	24.8	82.7	107.5
Total	2,483.7	1,971.3	4,455.0

Fuente: CEPAL, 2007; SIAP, 2012.

agrícola del estado. En particular, el cultivo del maíz, en el año 2006, concentró el 36% de la superficie destinada, y debido a su extensión y relevancia social, es el más importante en el estado. Como consecuencia del evento climático extremo registrado en 2007, la producción agrícola fue muy limitada²⁸, ya que sólo se logró cosechar el 12% de la superficie sembrada con maíz a causa de las inundaciones provocadas por el fenómeno, perdiéndose casi 15,000 ha dedicadas a este cultivo, lo que significó, en términos monetarios, una pérdida por 80 mdp (Cuadro 7.14).

Los cultivos de cacao, plátano, caña de azúcar, limón y pimienta concentran el 50% de la superficie agrícola. En el caso del cacao²⁹, se siembran 41,000 ha y se generan poco más de 12 mil empleos anuales. El área afectada fue de 36,968 ha, mermando entre un 40 y 80% la producción debido a la caída de frutos por los fuertes vientos, y el aumento

²⁸ El área sembrada de maíz fue de 46,449 ha, de las cuales sólo se lograron cosechar 5,918 ha.

²⁹ Tabasco es el primer productor de cacao en el país, con una participación del 66% del total nacional.

en la incidencia de enfermedades como la moniliasis, a consecuencia del incremento de la humedad generada por las inundaciones. El monto estimado por la pérdida en la producción del cacao ascendió a 1,308 mdp.

La producción de plátano, del cual Tabasco es el primer productor en el país, sufrió daños en un 39% de las hectáreas sembradas³⁰, lo que significó una pérdida por 5,513 mdp. El cultivo de caña de azúcar presentó afectaciones en el 2% de la superficie total sembrada y 77% de forma parcial; el monto por daños en su producción es significativo, estimándose en 493 mdp. Las pérdidas totales en la producción agrícola de Tabasco ascendieron a 7,446 mdp.

7.3.2.3 Ganadería

Las inundaciones ocasionaron daños en 615,807 ha destinadas a la ganadería³¹ (37% de la superficie de pastos para este fin), y otras 349,512 ha resultaron con afectaciones parciales, incluyendo la muerte de ganado y daño a pastizales. Este último tiene como consecuencia la reducción del alimento para el ganado, lo que a su vez conduce a un creciente deterioro de áreas de pastura por una mayor carga animal, así como costos adicionales por el traslado de ganado a otras zonas de pastoreo. Los daños y pérdidas del sector se estimaron en 768 mdp, de los cuales, 480 mdp corresponden a daños³² y 288 mdp a pérdidas³³. Como se observa en el Cuadro 7.15, la producción ganadera en la región es de suma importancia, ya que representa una importante actividad económica y es una fuente de empleo para el sector agrícola de Tabasco.

7.3.2.4 Acuacultura y pesca

Tabasco cuenta con 2,644,100 ha de superficie agrícola forestal y pesquera, de las cuales 392,110 ha corresponden a actividades de acuacultura, cuyos cultivos principales son el camarón, el langostino y la tilapia. Las pérdidas en la producción acuícola y pesca por el evento del 2007 ascendieron a 222 mdp, mientras que las del tipo material se calcularon en 467 mdp³⁴.

³⁰ La afectación de la superficie sembrada alcanzó el 65% (9,931ha) de las 15,111 ha dedicadas al cultivo de plátano.

³¹ La superficie de pastos para la ganadería en el estado es de 1,664,344 ha.

³² Los daños en ganadería corresponde a 409 mdp por pastizales dañados totalmente y 45 mdp por daños en el ganado (bovino, equino, ovino) y colmenas.

³³ Las pérdidas corresponden a la renta de potreros a causa de los pastos afectados y a la inversión en transporte para el traslado del ganado dentro y hacia fuera de Tabasco.

³⁴ Los cálculos sobre pérdidas en especie y pérdidas materiales, sólo corresponde a los acuicultores y pescadores afectados debidamente registrados en las instituciones federales y estatales correspondientes a su actividad.

Cuadro 7.15. Tabasco: municipios con mayor vulnerabilidad en ganadería a eventos climáticos extremos.

Municipio	Ganado Bovino					
	2010		2009		2008	
	Valor Prod. Miles de pesos	% Respecto al total estatal	Valor Prod. Miles de pesos	% Respecto al total estatal	Valor Prod. Miles de pesos	% Respecto al total estatal
Huimanguillo	618,807	16.28%	611,206	15.71%	615,828	16.29%
Balancán	618,366	16.26%	605,269	15.56%	574,338	15.20%
Tenosique	416,813	10.96%	412,136	10.59%	412,121	10.90%
Macuspana	369,490	9.72%	411,651	10.58%	390,644	10.34%
Centro	293,550	7.72%	320,652	8.24%	310,082	8.20%
Cárdenas	292,851	7.70%	288,275	7.41%	271,225	7.18%
Jonuta	209,748	5.52%	218,079	5.60%	221,822	5.87%
Jalapa	157,872	4.15%	182,160	4.68%	170,001	4.50%
Tacotalpa	155,720	4.10%	159,928	4.11%	155,701	4.12%
Centla	122,547	3.22%	125,341	3.22%	124,687	3.30%
Cunduacán	120,064	3.16%	120,592	3.10%	112,375	2.97%
Emiliano Zapata	105,433	2.77%	105,610	2.71%	107,093	2.83%
Comalcalco	103,190	2.71%	101,915	2.62%	95,322	2.52%
Nacajuca	87,577	2.30%	93,828	2.41%	88,405	2.34%
Teapa	58,187	1.53%	58,959	1.51%	58,653	1.55%
Jalpa de Méndez	52,760	1.39%	56,654	1.46%	53,150	1.41%
Paraíso	18,939	0.50%	18,780	0.48%	17,847	0.47%

Fuente: CEPAL, 2007; SIAP, 2012.

Es importante señalar que estos daños se magnifican, ya que esta actividad es la base de la economía familiar de los productores y, a su vez, es un elemento fundamental en la dieta diaria de las poblaciones establecidas en las zonas acuícolas. En la actividad pesquera, las pérdidas totales se estimaron en 209 mdp; dentro de los cultivos afectados se encuentran: el robalo (44 mdp), la tilapia (17.9 mdp), el huachinango (14 mdp) y la acamaya (14 mdp). En la acuacultura las pérdidas se estimaron en 13 mdp, de las cuales, las más significativas se registraron en la cría de tilapia (7 mdp) y en la de mojarra (4 mdp).

7.3.2.5 Sectores no agrícolas

En esta sección se analizan los efectos de las inundaciones del 2007 sobre el sector petrolero, la manufactura y la construcción, y se analizan los municipios que sufren

mayor número de inundaciones que afectan la producción de gas y aceite (Cuadros 7.16 y 7.17; Mapa 7.5).

Cuadro 7.16. Tabasco: producción de petróleo por día.

Producción de Petróleo por día ^{1/} % Región Sur		
Año	Producción	%
2007	1,096	81%
2008	1,215	83%
2009	1,372	86%
2010	1,400	93%
2011 ^{2/}	1,325	80%

^{1/}Miles de millones de pies cúbicos por día.
^{2/}Prospectiva.

Fuente: PEMEX; Estado de Tabasco, 2011.

Cuadro 7.17. Tabasco: municipios con mayor número de inundaciones y efecto en la producción de PEMEX.

Gas	Aceite
Cunduacán	Cunduacán
Huimanguillo	Huimanguillo
Cárdenas	Centla
Paraíso	Cárdenas

Fuente: PEMEX; Estado de Tabasco, 2011.

La emergencia provocada por las fuertes inundaciones afectó 24,885³⁵ empresas de los sectores no agrícolas³⁶. Los daños y pérdidas cuantificados para estos sectores ascendieron a 10,547 mdp, de los cuales, el 50% corresponde a pérdidas y daños en el comercio (5,296 mdp), el 32% (3,383.5 mdp) para servicios y 15% corresponde a la industria manufacturera y de construcción (1,587 mdp).

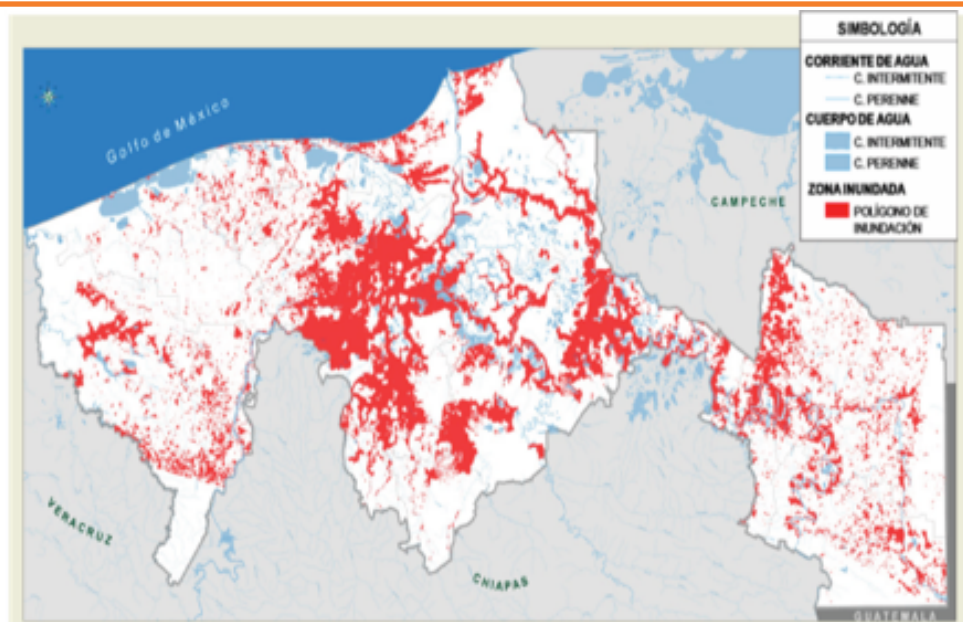
De acuerdo al tamaño de las empresas, el valor de los daños y pérdidas se distribuyó de la siguiente manera: microempresas 64%, pequeñas empresas 20% y empresas medianas 5%. En relación al empleo, resultaron afectados en los sectores no agrícolas 31,229 empleados, de los cuales, 15,547 corresponden al comercio, 8,016 a los servicios, 6,336 al turismo y 1330 a la manufactura y construcción.

En el sector petrolero, Tabasco tiene una gran producción en la plataforma continental de extracción de crudo de petróleo y gas. Los municipios de Cunduacán, Huimanguillo, Centla, Cárdenas y Paraíso, si bien son los mayores productores de gas y crudo, también son los de mayor prevalencia de inundaciones, lo que se traduce en la caída de producción para la Región Sur de Petróleos Mexicanos (PEMEX).

³⁵ El 95% de las empresas afectadas por las inundaciones correspondió a microempresas; la afectación de empresas pequeñas fue del 4%.

³⁶ Los sectores no agrícolas comprenden: comercio, industria manufacturera y de construcción, servicios y turismo.

Mapa 7.5. Zonas de inundación en Tabasco.



Fuente: Estado de Tabasco, 2011.

7.3.3 Impacto en sectores sociales

7.3.3.1 Vivienda

El desastre ocurrido en 2007 evidenció la necesidad de implementar e incorporar criterios de prevención de riesgos en el diseño y construcción de las viviendas en las regiones bajas de la cuenca Grijalva-Usumacinta, debido a la crecida de los cuerpos de agua. Del mismo modo, se debe adicionar el conocimiento sobre las zonas de riesgo donde se ubican las viviendas, ya que a partir del evento de 2007, es necesaria la reubicación. El FONDEN brindó apoyo a 89,671³⁷ viviendas afectadas, de éstas, las afectaciones fueron: 9,057 presentaron daños totales, 29,860 parciales, 40,083 menores y 10,671 sólo presentaron daños mínimos.

Los recursos que proporcionó el FONDEN para el apoyo a las viviendas afectadas fue de 1,835.6 mdp; la mayor proporción del monto fue usada para la adquisición de enseres domésticos (49%), mientras que para daños totales fue de 20% y para daños

³⁷ Para ser beneficiario del programa de atención a la vivienda, se requería que ésta hubiera sufrido daños a consecuencia del desastre, ser propietario de la vivienda afectada, encontrarse en situación de pobreza patrimonial y que la vivienda no se estuviera asentada en zona federal o irregular.

parciales de 19%. Los municipios que recibieron la mayor cantidad de estos recursos fueron: Centro (1,051 mdp), Nacajuca (279 mdp), Jalpa de Méndez (131 mdp) y Centla (108 mdp). La estimación para la totalidad de las viviendas afectadas ascendió a 2,546 mdp³⁸.

7.3.3.2 Sector salud

Debido al evento, 17 municipios reportaron daños en la red de salud estatal. Se reportaron afectaciones a 127 unidades de salud pública, entre ellas: Hospital de Alta Especialidad Juan Graham (de la Secretaría de Salud), el Hospital General de la Zona (del Instituto Mexicano del Seguro Social) y el Hospital Regional de PEMEX³⁹; así como a 117 clínicas de salud. El sector privado reportó daños en tres hospitales y pérdidas en 89 consultorios. También se registraron afectaciones en 25 laboratorios, alcanzando un monto estimado por daños de 22 mdp. La Secretaría de Salud (SSA) estimó daños y pérdidas en más de 150 mdp para el sector farmacéutico.

En total, los daños y pérdidas en este sector ascendieron a 2,083 mdp⁴⁰, los principales rubros afectados fueron: Salud Pública y Epidemiológica 18%, infraestructura 17%, costos suplementarios⁴¹ 16% y equipo, mobiliario e insumos 16%. En lo referente a infraestructura, el monto fue de 355 mdp, el 69% de los recursos corresponden a PEMEX y un 20% al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).

El monto por daños de mobiliario, equipo e insumos ascendió a 332 mdp: los daños a unidades privadas de salud concentraron el 60%, mientras que las unidades de salud de PEMEX contribuyeron con el 24%. Para Salud Pública y Epidemiológica, la estimación de los costos alcanzó los 372 mdp, la cual concentró 54% de los recursos para vacunación y 16% para agua y saneamiento básico después del desastre.

En lo referente al tratamiento de víctimas, los recursos alcanzaron un poco más de 275 mdp, de los cuales, 260 mdp correspondieron a la atención de la emergencia (atención integral a las personas afectadas). La SSA brindó casi 196 mil consultas en los albergues instalados, el monto de esta atención fue de 58 mdp. Se dieron 95 mil consultas especializadas y 180 mil en unidades de salud fijas y móviles, con montos estimados de 60 mdp y de 93 mdp, respectivamente. Las pérdidas estimadas por los

³⁸ La estimación contempla el apoyo por 20 mdp del Programa de Empleo Temporal.

³⁹ El Hospital de Alta Especialidad y el Hospital General de la Zona fueron evacuados por las fuertes inundaciones. El Hospital Regional de PEMEX, también fue evacuado, además de requerir su reubicación.

⁴⁰ El monto por daños en el sector se estimó en 688 mdp, mientras que la estimación por pérdidas fue de 1,396 mdp.

⁴¹ Los costos suplementarios se refieren a los ingresos no percibidos por las unidades médicas afectadas y la estimación de los servicios no prestados por las mismas.

ingresos no percibidos⁴² ascendieron a 19 mdp; por otro lado, las pérdidas asociadas por servicios no brindados alcanzó la cifra de 324 mdp.

La infraestructura en salud sufrió fuertes daños, por lo que se realizaron estimaciones para proyectos de reconstrucción. El monto para estos proyectos ascendió a 453 mdp, de los cuales, 228 mdp serán para instalaciones de la SSA (50%) y 179 millones para infraestructura del Desarrollo Integral de la Familia (DIF)⁴³ (39%).

Debido a la emergencia, se incrementaron los costos por el aumento de la morbilidad, el cual fue de 66 mdp, de los cuales, 15 mdp se debieron a su incremento por enfermedades respiratorias agudas, 9.4 mdp por aumentos en dematomicosis, 8 mdp para tratar enfermedades diarreicas agudas, 3 mdp por síndrome febril y 2 mdp para parasitosis.

7.3.3.3 Educación

Es importante señalar que Tabasco, antes de las inundaciones, presentaba rezago y recursos insuficientes para el mantenimiento de los planteles escolares⁴⁴. Los daños al sistema educativo por la emergencia, que comprendió del 27 de octubre al 20 de diciembre, fueron en poco más de 3,800 planteles escolares. Esto provocó la suspensión de las actividades, afectando a más de 500 mil alumnos (Cuadro 7.18) (71% del total matriculado) y a 19,063 maestros de todos los niveles escolares. Los municipios con un mayor número de estudiantes afectados fueron: Centro 107,804 (21%), Cárdenas 60,915 (12%) y Huimanguillo 48,632 (10%).

El número de planteles afectados desde nivel preescolar hasta bachillerato fue de 3,861⁴⁵; la estimación de los daños (312 mdp) y pérdidas (133 mdp) alcanzó el monto de 446 mdp. Además, el costo de la reparación de 401 escuelas por infiltraciones después de las inundaciones se estimó en 142 mdp.

El total de daños y pérdidas en la infraestructura educativa se estimó en 752 mdp, de los cuales, el 79% se concentró en infraestructura de educación básica y media superior,

⁴² La estimación de los ingresos no percibidos corresponde a los ingresos que se dejaron de obtener por consultas médicas privadas (14 mdp) y exámenes de laboratorio privado (5 mdp).

⁴³ El proyecto de reconstrucción de infraestructura en salud para el DIF contempla 18 obras de fortalecimiento de equipamiento con recursos del Fondo de Previsión Presupuestal del Estado de Tabasco.

⁴⁴ La Secretaría de Educación Pública el Estado de Tabasco estimó que el 50% de planteles escolares presentaban en su infraestructura algún tipo de daño antes del evento. Es importante señalar que algunos planteles escolares no habían recibido reparaciones por las inundaciones de 1999.

⁴⁵ El número de planteles escolares de nivel preescolar y primaria afectados fue de 3,324, los planteles de educación secundaria y bachillerato afectados fueron 537. contempla 18 obras de fortalecimiento de equipamiento con recursos del Fondo de Previsión Presupuestal del Estado de Tabasco.

Cuadro 7.18. Tabasco: alumnos y docentes afectados 2007.

Municipio	Alumnos afectados	Docentes	% alumnos	% docentes
Balancán	3,071	140	0.61%	0.73%
Cárdenas	60,915	2,228	12.01%	11.69%
Centla	33,446	1,334	6.60%	7.00%
Centro	107,804	3,853	21.26%	20.21%
Comalmalco	46,608	1,773	9.19%	9.30%
Cunduacán	19,809	744	3.91%	3.90%
Emiliano Zapata	5,825	222	1.15%	1.16%
Huimanguillo	48,632	1,754	9.59%	9.20%
Jalapa	7,200	315	1.42%	1.65%
Jalpa de Méndez	23,924	952	4.72%	4.99%
Jonuta	7,478	337	1.47%	1.77%
Macuspana	34,070	1,422	6.72%	7.46%
Nacajuca	21,107	843	4.16%	4.42%
Paraíso	7,707	230	1.52%	1.21%
Tacotalpa	12,992	509	2.56%	2.67%
Teapa	12,012	504	2.37%	2.64%
Tenosique	14,444	653	2.85%	3.43%
Total	507,044	19,063	100%	100%

Fuente: CEPAL, 2007.

13% en escuelas utilizadas como albergues durante la emergencia y sólo 7% en planteles de educación superior. Por otra parte, los daños y pérdidas en mobiliario y equipamiento se calcularon en 339 mdp⁴⁶, y el monto por daños y pérdidas en libros y otros materiales se ubicó en 36 mdp. El monto total de estos rubros ascendió a 1,129 mdp.

7.3.3.4 Infraestructura

Los daños en la infraestructura, a consecuencia de las inundaciones, alcanzaron la cifra de 5,468 mdp. Los principales rubros de las afectaciones fueron: transporte y comunicaciones (3,925 mdp), obras hidráulicas de protección (1,200 mdp) y obras “especiales” para drenar el embalse Juan de Grijalva (296 mdp). La red carretera de Tabasco es de 8,858 kilómetros, de los cuales 5,369 km son del tipo estatal, 2,853 km municipal y 636 km federal. Los daños comprendieron el 73% de la red carretera, con

⁴⁶ Los daños en mobiliario y equipo ascendieron a 159 mdp y las pérdidas para este mismo concepto se calcularon en 181 mdp.

4,175 km en la estatal, 2,000 km en la municipal y 310 km en la federal, cuyo monto total de las tres sumó 3,905 mdp.

Las pérdidas en infraestructura de agua y saneamiento ascendieron a 509 mdp⁴⁷, del monto anterior, los daños y pérdidas en el servicio de agua potable fueron de 161 mdp y de alcantarillado 340,5 mdp⁴⁸.

7.3.3.5 Daños a servicios urbanos ambientales

Los daños y pérdidas en el medio ambiente a causa de las fuertes inundaciones se estimaron en 162 mdp⁴⁹. El 35% de éstos corresponde a las lagunas urbanas, las cuales presentaron contaminación, sedimentación, pérdida de flora y fauna, ente otros daños. La contaminación de aguas concentró el 34% de los montos de daños y pérdidas causadas por sustancias tóxicas, mientras que al rubro de desechos sólidos⁵⁰ le correspondió el 23%. La estimación de los daños y pérdidas ambientales en los recursos forestales representó el 5%.

7.3.4 Evaluación de los costos del cambio climático en el sector agrícola

Los países en vías de desarrollo son muy vulnerables a las consecuencias físicas del cambio climático por la elevada sensibilidad de su estructura económica y productiva, por su exposición a un clima adverso y cambiante, por su baja renta que limita su capacidad de adaptarse, así como por la poca planificación en la gestión de desastres asociados a fenómenos naturales.

La inversión en la creación de fondos y programas sub o sobre dimensionados, sólo afectará las capacidades de adaptación de las economías y su crecimiento en forma directa. Por ello, es necesario conocer cuáles serán los efectos del cambio climático en cada una de las regiones y actividades económicas, así como desarrollar escenarios que permitan diseñar medidas puntuales para cada una de estas actividades. En la sección anterior se esbozaron algunas de las medidas, las cuales comprenden desde el desplazamiento de población, la adopción de nuevas tecnologías, la creación de infraestructura adecuada, el establecimiento de fondos, hasta la creación de seguros tanto

⁴⁷ Se incluye los daños a los bordos, los daños indirectos y recursos del FONDEN.

⁴⁸ La estimación de los daños y pérdidas en el servicio de agua potable y el servicio de alcantarillado comprenden los servicios urbanos y rurales. Para el servicio de agua urbano el monto de los daños fue de 156 mdp; para el servicio rural 5 mdp. Los daños al alcantarillado urbano ascendieron a 330 mdp y los correspondientes al rural fueron de 10 mdp.

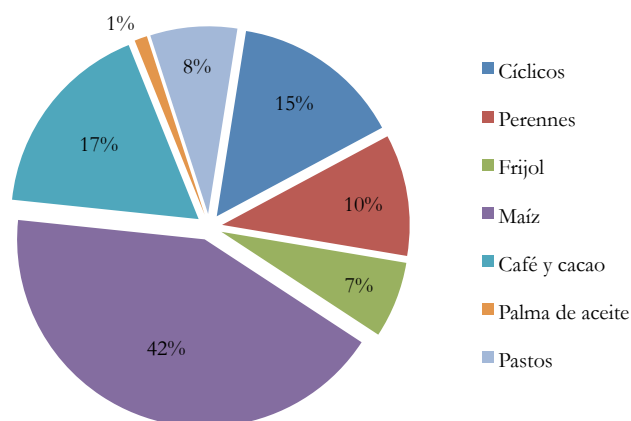
⁴⁹ Es importante señalar que los montos de daños y pérdidas referentes a las zonas costeras no se han estimado debido a la falta de información.

⁵⁰ El concepto de residuos sólidos comprende: daños a rellenos sanitarios, contaminación y gastos de recolección.

públicos como privados. Algunas de estas acciones relacionadas con la agricultura en México se ejemplifican con instituciones como Agroasemex, institución que tiene como misión proteger el patrimonio de la gente del campo a través de seguros, investigación e información.

Como se mencionó en el Capítulo 4, aproximadamente el 50% de la población de Chiapas y el 40% de Tabasco, vive en localidades de 2,500 habitantes o menos, frente al 23% nacional, lo cual hace evidente la dificultad de otorgar servicios públicos a la población rural. En relación a la superficie sembrada en México, Chiapas tiene el 6.4% del total nacional y, particularmente, el maíz cuenta con el 8.9% del área, aunque con rendimientos bajos, lo que podría estar relacionado con la producción de autoconsumo, consecuencia, en parte, por la alta dispersión de las comunidades y el aislamiento al que están sujetos los productores comunitarios en algunas zonas de Chiapas (Figura 7.8).

Figura 7.8. Chiapas: superficie sembrada por tipo de cultivo.



Fuente: Calculado a partir de OEIDRUS. Estadística agrícola básica: anuarios por entidad. Datos 2010.

La creación de un seguro o fondo de contingencia parte de evaluar los costos presentes y futuros de un desastre causado por fenómenos naturales, así como de su frecuencia e intensidad a futuro. En el presente trabajo se usa un modelo de daño potencial respecto a condiciones climáticas, que procura recoger las relaciones existentes entre los daños provocados por fenómenos hidrometeorológicos puntuales, tales como huracanes y lluvias torrenciales en el contexto climatológico de cada región (precipitación, temperatura, etc.), para posteriormente valorar el daño respecto a cada una de las actividades económicas bajo estudio.

Para ello, el municipio es usado como escala de análisis, centrándose en los dos productos agrícolas que abarcan más del 50% en los estados de Chiapas y Tabasco:

el maíz y el café. Cabe aclarar que la producción de maíz se vincula a la siembra de frijol pero existe una escasez de datos puntuales de este producto. Posteriormente, se regionalizan los resultados de acuerdo a la caracterización propuesta en el Capítulo 2, y bajo el marco de análisis extraído de Olivera (2012).

La literatura analizada muestra las siguientes relaciones entre actividades económico-sociales, desastres por eventos naturales y cambio climático:

- Agua: la ecuación de *Clausius-Clapeyron* muestra una relación exponencial entre la retención hídrica en la atmósfera y el aumento de la temperatura.
- Producción agrícola: parábola inversa.
- Mortalidad humana: función de U invertida en función de la temperatura.
- Daños por tormentas: función cubica en relación con la velocidad del viento.
- Costos de protección costera: función parabólica en relación con el aumento del nivel del mar.

La mayoría de las investigaciones, citadas en la literatura sobre los efectos económicos del cambio climático en la agricultura, examinan el vínculo entre las funciones de producción y los factores climáticos (Seo *et al.*, 2008; Gay *et al.*, 2006). Una de las formas de instrumentalizar esta visión es mediante el Método Ricardiano, desarrollado por Mendelsohn *et al.* (1994), siendo éste un enfoque de corte transversal que estudia la producción agrícola y su relación con los factores climáticos, partiendo del hecho que el valor de la tierra refleja su productividad neta a largo plazo. Si bien este método ha sido comprobado en economías como la europea, es difícil aplicarlo en los países en desarrollo, puesto que no existe un buen funcionamiento de los mercados de tierras y los datos sobre precios de éstas son inexistentes; tal es el caso de México.

Otros analistas han sugerido utilizar un enfoque semi-Ricardiano, donde los ingresos netos de tierras agrícolas reflejan la productividad neta del suelo (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008). La idea central del argumento teórico indica que los precios de la tierra reflejan, a futuro, el valor actual, descontado al suelo agrícola analizado de las utilidades de la producción agrícola asociada (Guiteras, 2009). Modelos Ricardianos o semi-Ricardianos en los Estados Unidos, Brasil y la India, indican que el ingreso neto agrícola, o el valor del suelo, depende del clima, del suelo y de las condiciones económicas (Mendelsohn *et al.*, 1994, 1996, 2001, 2007, 2008; Sanghi, 1998; Guiteras, 2009).

El estudio explora los efectos de la temperatura y las precipitaciones en función de la producción agrícola, así como también su posible asociación con la seguridad alimentaria en áreas rurales. A continuación se analiza la relación esperada entre las fluctuaciones del clima y los rendimientos agrícolas.

Para esto, se considera una función de producción para un agricultor medio (vivienda rural), donde T representa la temperatura; P la precipitación; G los insumos agrícolas, así como las características geográficas y tipo de suelo; L la mano de obra que puede variar en el corto plazo; K el capital, que sólo puede variar en el largo plazo; y m la unidad central de análisis, es decir, los municipios. Se considera que el agricultor es un tomador de precios, esto es, que su producción no influye en los precios internacionales ni locales; la lluvia y la temperatura se consideran variables dadas sobre las que no se tiene influencia; por lo tanto, el problema se resuelve de la siguiente manera (Olivera, 2012):

Ecuación 1

$$\text{max Rendimiento Agrícola} = f(T_{mt}, P_{mt}, K, L, G,) \text{ sujeto a } c(m_1, \dots, m_n) \\ m \times \in R$$

Los costos totales, C, son una función del cultivo producido y la tecnología utilizada, que a su vez dependen del clima dado por la precipitación y la temperatura que afectan directamente el rendimiento agrícola (Deschenes y Greenstone, 2006; Guiteras, 2009). La solución de este problema de optimización permite observar, hacia un determinado nivel de temperatura y precipitación, características del suelo y la combinación de mano de obra e insumos agrícolas seleccionados por el agricultor, los cuales maximizan el rendimiento. Se considera que los cambios en la productividad agrícola afectan los ingresos y la cantidad de alimentos producidos y disponibles en los hogares rurales con consecuencias en la seguridad alimentaria de las regiones.

La relación entre la producción de alimentos (ingresos) y la estacionalidad agrícola, se ha estudiado en diferentes contextos. La conclusión principal es la existencia de una fuerte relación entre factores temporales agrícolas y climáticos, así como la disponibilidad previa de capital productivo (Chambers, 1982; Dasgupta y Ray, 1987; Patz *et al.*, 2005); es decir, los cambios en las precipitaciones y la temperatura y su combinación con los cambios en la producción agrícola repercuten en el suministro de alimentos, especialmente en los granos básicos, cuya provisión aumenta sus precios relativos a nivel local. Este fenómeno está directamente asociado a cambios en los niveles de seguridad alimentaria (Olivera, 2012).

Los hogares rurales cuya principal actividad es la agricultura de secano, no pueden generar suficientes ingresos para mantenerse al margen de las caídas en la producción agrícola, pero puede mitigar las consecuencias del cambio climático a través de la adaptación, en al menos dos direcciones: 1) cambio de actividades agrícolas hacia sectores más rentables y con mayor oferta ocupacional, o 2) migración a regiones más productivas (Assunção y Chein, 2009).

7.3.4.1 Datos y estadística

El estudio se llevó a cabo en 135 municipios de Chiapas y Tabasco. El análisis utiliza cuatro tipos de información: 1) la producción agrícola, 2) los datos socio-económicos, 3) los datos hidrometeorológicos y 4) los escenarios climáticos. Los datos agrícolas y socioeconómicos provienen del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). La precipitación diaria y la temperatura tienen como fuente de información las estaciones hidrometeorológicas del SMN; mientras que los escenarios de temperatura y precipitación están basados en un modelo de ensamble del IPCC en su versión del AR5 (Capítulo 6).

7.3.4.2 Efectos del clima sobre la producción agrícola

Nuestro marco teórico (Modelo Ricardiano) supone que cada agricultor, como tomador de precios, elige el tipo de cultivo e insumos para cada unidad de tierra y maximiza el rendimiento en función de las condiciones climáticas y físicas de cada unidad de tierra en particular. A pesar de que las perturbaciones hidrometeorológicas son determinadas exógenamente, los agricultores pueden reducir los daños potenciales, derivados del cambio climático, a través de estrategias de adaptación eficaces; por ejemplo, por medio de la elección de los cultivos y las variedades de ganado, así como la infraestructura de riego, entre otras opciones (Mendelsohn, 2000).

Sin bien en el corto plazo los agricultores pueden modificar ciertas tecnologías de producción (semillas, fertilizantes, mano de obra), no pueden adaptar fácilmente sistemas de infraestructura de riego o de costos hundidos como maquinaria agrícola. De manera similar, considerar cambios en la producción de maíz o frijol por otros productos es poco probable, dado que el cultivo de maíz es una tradición milenaria en México, y en caso de realizar un cambio por café, el costo de implementación es elevado, por lo que prácticas como estas significarían asumir inversiones y riesgos altos por los agricultores (Olivera, 2012).

Sin una adaptación plena en el corto plazo, el impacto de las perturbaciones hidrometeorológicas en los rendimientos agrícolas adoptan una forma funcional cuadrática y, en términos generales, se observa un comportamiento no-lineal del sistema. Esto es lo que indican los Modelos Ricardianos en Estados Unidos, Brasil e India (Mendelsohn *et al.*, 1994, 1996, 2001, 2007, 2008; Sanghi, 1998; Guiteras, 2009). Otros factores determinantes y plausibles de rendimientos agrícolas, tales como la calidad del suelo y la ubicación municipal, deben ser incluidos para evitar omisión de variables dentro el modelo (Olivera, 2012). De hecho, el éxito de la aplicación de los modelos semi-Ricardianos depende de su capacidad de exponer los factores relacionados con el clima y la influencia de éstos en la productividad agrícola (Guiteras, 2009).

En general, para evaluar los efectos históricos de temperatura y precipitación, así como sus proyecciones concernientes al cambio climático relacionados a los rendimientos agrícolas, se propone el siguiente modelo econométrico para estimar las variaciones en el rendimiento del municipio m en el año t :

Ecuación 2

$$\text{Rendimientos agrícola } w_{m,t} = h g w m t m t h d w + \delta z m t + c m + \varepsilon m t$$

En la ecuación 2 se muestran como variable dependiente a los rendimientos medios por hectárea. Las estimaciones de rendimiento se construyeron según la ecuación 3:

Ecuación 3

$$\text{Rendimientos agrícola } w_{m,t} = \pi x m t H x m t$$

Donde $\pi x m t$ es la producción total (en toneladas) por cultivo en el municipio (m) en el año (t), y H son las hectáreas sembradas o en existencia (en el caso del café) al inicio de la temporada.

En la ecuación 2, $g(w)$ representa el crecimiento del cultivo, que depende de las variables climáticas (w) (temperatura y precipitación) y $\phi m t(w)$ es el promedio de precipitación para cada municipio (m) en el año (t), además muestra el comportamiento de los costos de producción. La matriz $z m t$ incluye la temperatura media y las tecnologías empleadas (tipo de semilla, trabajo manual o mecánico, y fertilizantes y agroquímicos utilizados) en el municipio (m) y el año (t). El término c representa las características municipales (por ejemplo, tipo de suelo, latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar).

En general, la regresión incluye variables climáticas, geográficas y económicas que afectan la productividad del cultivo. Como parte de las variables geográficas, se incluyen las coordenadas de posición (latitud, longitud y altitud) y la calidad del suelo. Para las variables económicas que influyen en la productividad agrícola se consideran los costos, mientras que las variables climáticas comprenden términos lineales y cuadráticos para la precipitación estacional y la temperatura media.

7.3.4.3 Regresión de los rendimientos agrícolas en caso del maíz de temporal

Como se esperaba, el incremento en la lluvia y la temperatura aumenta la producción agrícola, pero a partir de un nivel (eventos extremos), éste disminuye los rendimientos agrícolas. Esto confirma la existencia de una relación no lineal entre la temperatura/precipitación y los rendimientos de maíz, pues donde hay escasez de lluvia se reduce la productividad agrícola, y en los lugares donde ocurren precipitaciones intensas puede haber daño a los cultivos. Este hallazgo es consistente con los datos encontrados en la

literatura. De acuerdo con la especificación general (Cuadro 7.19, columnas 3 y 4), se estima que el aumento de 1 mm de precipitación incrementa la productividad bruta por 81 kg por ha en promedio, y un incremento de 1°C aumenta la productividad por ha de 80 kg en promedio.

La relación entre los costos (que expresan la tecnología usada) y la producción de maíz, muestran una forma de U invertida. Esto implica que los agricultores de bajos rendimientos incrementan la productividad de sus cultivos con niveles mínimos de inversión. Por encima de cierto nivel de inversión, los agricultores pueden incurrir en pérdidas debido a que el nivel de producción no cubre dicha inversión (Cuadro 7.19, columnas 9 y 10); sin embargo, la falta de grados de libertad impide la aplicación de efectos fijos individuales que permitan controlar posibles sesgos en la estimación por omisión de variables.

La estimación final emplea variables de control a nivel municipal que actúan como efectos fijos del modelo (Cuadro 7.19, columnas 1 y 2), por ello se usan variables geográficas de control (características del suelo, la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar) para cada municipio. Esta estimación reduce la muestra a 25 municipios, por lo que se prefiere usar las estimaciones realizadas en la columna 3 y 4 al cubrir una mayor cantidad, a pesar de tener una especificación general. En dicha especificación del modelo, se usan variables geográficas de control como altura, latitud y longitud; de distancia entre los centros poblados del municipio y las carreteras; así como un indicador para cada estado y estación agrícola. En el caso de México: primavera-verano y otoño-invierno.

Los factores climáticos explican una parte del comportamiento de los rendimientos agrícolas del maíz, siendo, junto con los costos de producción, el factor de mayor relevancia en el estudio (Cuadro 7.19, columna 10 y 11), lo que establece una posible línea de adaptación a priori, ya que al modificar los costos agrícolas mediante cambios en tecnología como semillas, manejos culturales, etc., es posible desarrollar procesos de adaptación de bajo costo pero de alta relevancia a nivel local.

En el Cuadro 7.20 se desarrolla un ejercicio de integración que muestra el efecto de cambios en la tendencia media de lluvia y temperatura, así como sus repercusiones en el rendimiento de maíz por hectárea para la región. Un escenario de mayor retención de energía en la atmósfera (RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5), significará una productividad menor de maíz en la zona. Lo anterior se traduce en pérdidas monetarias y afectaciones directas a la seguridad alimentaria de las familias que viven de la producción de este cultivo, al tener que destinar recursos adicionales a la compra de cereales básicos o ampliar sus áreas de siembra para aumentar la productividad de maíz de autoconsumo. En el Cuadro 7.20 se calcula el número de familias que tendrían que adquirir todo

Cuadro 7.20. Cuenca Grijalva-Usumacinta: cambios en la producción de maíz por cambio climático.

Pérdida de productividad anual, pérdidas económicas por año y familias afectadas Escenarios: RCP 4.5, RCP6, RCP8.5									
Región	Escenarios								
	RCP 4.5 2015-2039			RCP 6 2015-2039			RCP 8.5 2015-2039		
	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Familias afectadas en su seguridad alimentaria	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Familias afectadas en su seguridad alimentaria	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Familias afectadas en su seguridad alimentaria
Alto Grijalva	0.90%	13,895,312.66	8,127	0.94%	14,960,556.84	8,749	4.39%	37,297,716.66	21,812
Bajo Grijalva	2.74%	629,546.70	398	2.94%	678,967.75	428	6.79%	1,340,896.91	845
Bajo Usumacinta	2.07%	1,521,543.91	766	2.31%	1,686,901.11	849	4.72%	2,470,464.98	1,157
Lacandona - Comitán	0.27%	2,126,332.36	1,172	0.32%	2,358,611.82	1,301	9.96%	5,449,571.49	2,841
Ríos de la Sierra	1.72%	2,023,868.20	974	1.90%	2,257,045.31	1,088	4.41%	5,297,716.16	2,556
Tulijáh - Chilapa	1.62%	1,972,450.24	1,016	1.88%	2,344,441.62	1,201	3.84%	4,530,553.14	2,328
Región	Escenarios								
	RCP 4.5 2075-2099			RCP 6 2075-2099			RCP 8.5 2075-2099		
	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Familias afectadas en su seguridad alimentaria	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Familias afectadas en su seguridad alimentaria	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Familias afectadas en su seguridad alimentaria
Alto Grijalva	0.55%	10,465,495.42	6,153	2.08%	31,050,560.51	18,132	4.67%	66,275,294.16	38,637
Bajo Grijalva	2.34%	534,238.45	337	5.78%	1,339,369.73	844	11.41%	2,641,559.28	1,664
Bajo Usumacinta	1.92%	1,403,218.11	705	4.44%	3,236,364.06	1,626	8.92%	6,493,881.80	3,262
Lacandona - Comitán	0.04%	1,430,779.15	755	0.88%	5,428,917.61	2,925	2.61%	13,485,047.57	7,075
Ríos de la Sierra	1.38%	1,544,382.99	742	3.82%	4,571,878.58	2,202	11.71%	10,081,646.76	4,868
Tulijáh - Chilapa	1.20%	1,398,327.99	752	3.71%	4,614,367.52	2,369	8.22%	10,447,064.76	5,267

Fuente: Estimaciones del autor.

el gramo básico que consumen en el transcurso de un año, si los efectos del cambio climático se dieran en las actuales condiciones productivas y tecnológicas.

En promedio, en el escenario de cambio climático RCP 4.5 para futuro cercano (2015-2039), el rendimiento de maíz cae en forma agregada 1.55% en toda la cuenca. La región donde los rendimientos caen en mayor medida es el Bajo Grijalva, con casi un 2.74% por ha; mientras que el Alto Grijalva es la zona con mayor número de afectados, con 8,127 familias que no tendrían acceso directo a la producción de maíz, suponiendo que cada una consume en promedio una tonelada de maíz al año (AMBIO, 2011).

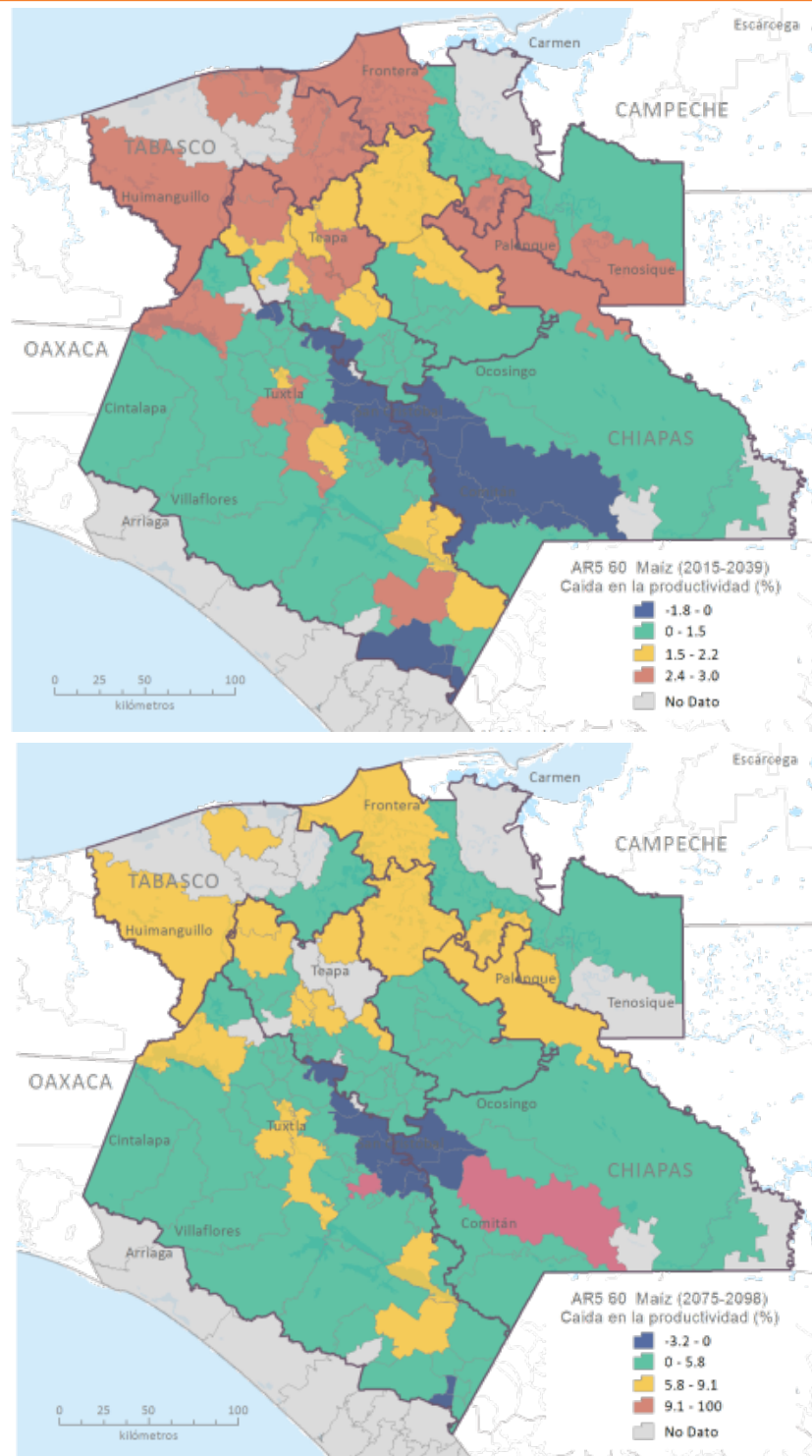
Si analizamos el resto de los escenarios se observa la misma tendencia de comportamiento, pero exacerbada por los efectos de temperatura y precipitación previstos. El escenario futuro lejano (2075-2099) para el RCP 8.5, muestra los efectos más fuertes de cambio climático, con una caída agregada del 7.53% de la productividad con la actual tecnología implementada, es decir, semilla, fertilización, usos de suelo, etc., lo que equivale a que en la región del Bajo Grijalva la productividad caiga 11.41%, y en el Alto Grijalva el número de familias que padecen inseguridad alimentaria suba a 38,637 (Cuadro 7.20). Como se observa, los efectos del cambio climático se pueden analizar desde diferentes criterios. Si se considera sólo una perspectiva agrícola, donde prevalece la caída en rendimientos, las zonas bajas de la cuenca del Grijalva-Usumacinta son las más afectadas; mientras que si se analiza el efecto en la producción total y sus repercusiones en la población, el Alto Grijalva es la región que resulta con más familias afectadas en su seguridad alimentaria (Mapa 7.6).

7.3.4.4 El cambio climático y su impacto en la producción de café en Chiapas

América Latina es altamente vulnerable al cambio climático dada su baja capacidad de adaptación, particularmente a los eventos extremos. En este contexto es muy probable que la producción de café disminuya de forma significativa, por lo cual se desarrolló un análisis econométrico para el estudio de la relación entre la producción de café y las variables económicas y climáticas para estimar los impactos potenciales. Para ello, se usa como marco de referencia el modelo general de análisis de clima y comportamiento agrícola visto en la sección 7.3.4.2.

La variable climática más relevante para la producción de café es la temperatura, pues cuando ésta presenta cambios, la productividad se ve afectada directamente (Cuadro 7.21). Esto muestra dos factores preponderantes en el comportamiento de plantas perennes ante el clima: la necesidad de temperaturas bajas para la floración (horas frío) y el estrés de la planta ante temperaturas extremas (Granados *et al.*, 2012). Lamentablemente no se cuenta con la recopilación de datos históricos ni escenarios

Mapa 7.6. Caída en la productividad del maíz a nivel municipal: escenarios RCP 6, futuro cercano y lejano.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7.21. Estimaciones de la producción de café en función a variables climáticas.

Variables	GLM café, rendimientos por hectárea	Error estándar
Precipitación	0.000426***	0.000152
Precipitación al cuadrado	-9.06e-08***	3.16e-08
Temperatura	0.180*	0.0975
Temperatura al cuadrado	-0.00437**	0.00220
Altura sobre el nivel del mar	0.000201***	6.92e-05
Coordenadas geográficas	-0.586***	0.0380
Salario mínimo por municipio en <i>lognat</i>	-17.92***	3.269
Índice de costo agrícola a nivel municipal	-4.81e-05**	1.90e-05
Constante	82.31***	13.55
R-cuadrado	0.433	

***p<0.01; **p<0.05; *p<0.1

Nota: Método de estimación modelos lineales generalizados (GLM).

Fuente: Estimaciones del autor.

futuros de horas frío, así como tampoco con información del mismo tipo para eventos de calor extremo en forma diaria, por lo que el uso de temperaturas promedio es una buena aproximación para apreciar su importancia en el cultivo del café.

Otra variable de igual relevancia para ese cultivo en la región sur de México es la altura. Esto es debido a que una forma de adaptación ante el incremento en la temperatura es el sembrado de cultivos de café a mayores alturas, opción considerada en estudios del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)(2012). Esta variable de análisis tiene varias limitantes: la primera es de orden geográfico, ya que existen regiones sin cadenas de montañas o serranías que permitan desarrollar esta manera de adaptación; otra es de orden legal, como lo es la tenencia de la tierra, ya que las áreas montañosas suelen coincidir con Áreas Naturales Protegidas o con territorios ya otorgados a otros propietarios comunitarios o con derechos privados de propiedad, por lo que la aplicación de esta estrategia se limita a la distribución geográfica y de pertenencia.

Por otra parte, las variables económicas más importantes para el análisis son: el salario mínimo real y el índice de costos agrícolas desarrollado por SIAP a nivel municipal para la región de Tabasco y Chiapas; esto debido a que en México la producción de café requiere de una mano de obra intensiva, representando hasta el 80% de los costos de producción, por lo que cualquier cambio en el índice de salarios mínimos o costos directos en la agricultura se ven reflejados en la productividad del sector.

El modelo econométrico desarrollado en el Cuadro 7.21 proyecta la producción de café bajo diferentes condiciones climáticas, generadas para diferentes escenarios de retención de energía en la atmósfera (RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5). Los escenarios de

cambio climático se realizaron considerando la tendencia observada de las variables climáticas entre los años 2015-2039 y 2075-2099. El modelo muestra que la variable climática más relevante en la producción es la temperatura. Los resultados de la proyección del cambio climático para el año 2075-2099 bajo RCP 8.5, indican que la producción de café podría ser económicamente no viable para los productores, ya que el modelo denota una reducción del 13.6% en la producción actual para un análisis regional, mientras que regiones como las del Bajo Grijalva muestran caídas de más del 28% de los rendimientos actuales.

El análisis presentado en el Cuadro 7.22 expone el cambio en los rendimientos agrícolas del café cereza por ha/año, adicionalmente se muestra cual debería ser el incremento en la altura del cultivo para que las condiciones de productividad permanezcan iguales a las actuales. Como se observa, las regiones del Bajo Grijalva y Ríos de la Sierra son las que presentan mayores pérdidas de productividad ante el cambio climático, mostrando caídas del 6.71% para el Bajo Grijalva y del 2.67% para la región de Ríos de la Sierra.

Desde una perspectiva económica, se observa que si bien los cambios en rendimientos son más importantes en la región del Bajo Grijalva, los efectos económicos se centran en la región de Ríos de la Sierra, Tulijáh – Chilapa y Alto Grijalva, donde las pérdidas están asociadas a la importancia del cultivo para los pequeños productores, que en el agregado representan una gran cantidad de superficie cultivada en la región (Mapa 7.7).

En el análisis del incremento de la altura del cultivo como opción de adaptación al cambio climático, se observa que para los escenarios de mayor retención de energía y de largo plazo, es decir, el modelo RPC 8.5 para los años 2075-2099, el aumento de altura promedio rebasan los 1,000 metros, lo que hace inviable esta opción para las regiones más bajas de la costa, donde se deberán implementar otras opciones de adaptación y manejo de los recursos ante los eventos derivados del cambio climático (Cuadro 7.22 y Mapas 7.8 y 7.9).

7.3.5 El impacto del cambio climático en la línea costera de Tabasco

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2012) señala que la mejor forma de adaptarse a las condiciones cambiantes del clima requerirá continuos ajustes en el comportamiento de la sociedad y su relación con el medio ambiente, así como de las actividades económicas. Estos ajustes serán particularmente relevantes en la línea costera del estado de Tabasco debido a su ubicación y características geofísicas, así como por su exposición a eventos climáticos extremos, que van desde ciclones tropicales, frentes fríos hasta lluvias torrenciales; la zona costera además sufrirá las consecuencias de la elevación del nivel del mar como consecuencia del cambio climático (INECC, 2012; Vázquez *et al.*, 2010; Gama *et al.*, 2011).

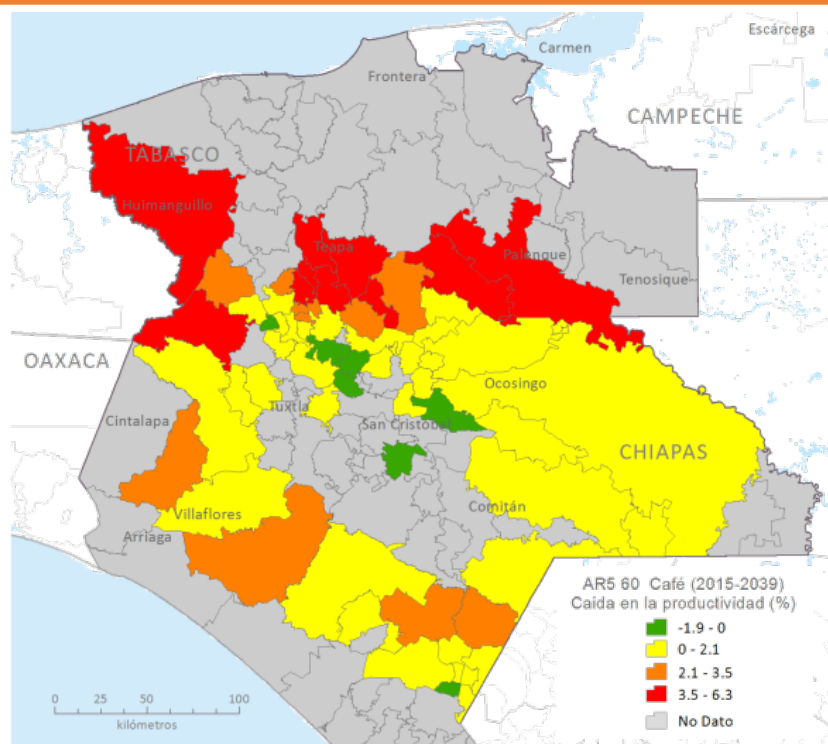
Cuadro 7.22. Cuenca Grijalva-Usumacinta: cambios en la producción de café por cambio climático.

Pérdida de productividad anual , económica e incremento de altura como proceso de adaptación Bajo escenarios: RCP 4.5, RCP6, RCP8.5										
Región	Escenarios									
	RCP 4.5 2015-2039				RCP 6 2015-2039				RCP 8.5 2015-2039	
	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Incremento altura promedio (m)	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Incremento altura promedio (m)	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Pérdida productividad promedio (%)	Incremento altura promedio (m)
Alto Grijalva	1.39%	3,111,015.26	154.5	1.12%	2,954,485.58	126.7	1.42%	3,400,079.2	1.42%	159.1
Bajo Grijalva	6.71%	40,540.72	418.8	5.18%	31,286.10	323.2	6.64%	40,130.4	6.64%	414.5
Lacandona - Comitán	1.27%	782,477.95	81.3	1.19%	688,845.84	104.6	1.28%	825,873.6	1.28%	118.4
Ríos de la Sierra	2.67%	4,539,149.50	234.6	2.19%	3,541,962.94	189.9	2.59%	4,426,102.3	2.59%	228.2
Tulijáh - Chilapa	2.66%	4,532,379.26	237.4	2.16%	3,359,238.25	190.1	2.65%	4,557,879.1	2.65%	237.3
Total	2.94%	13,005,562.70	225.3	2.37%	10,575,818.71	186.9	2.92%	13,250,064.6	2.92%	231.5

Región	Escenarios									
	RCP 4.5 2075-2099				RCP 6 2075-2099				RCP 8.5 2075-2099	
	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Incremento altura promedio (m)	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Incremento altura promedio (m)	Pérdida productividad promedio (%)	Pérdida por año (pesos)	Pérdida productividad promedio (%)	Incremento altura promedio (m)
Alto Grijalva	3.19%	7,037,160.35	356.5	3.86%	9,448,341.6	436.1	7.08%	15,046,491.01	7.08%	790.1
Bajo Grijalva	13.98%	84,462.93	872.5	16.69%	100,832.4	1,041.5	28.55%	172,467.17	28.55%	1,781.5
Lacandona - Comitán	3.07%	2,000,236.89	287.6	3.76%	1,659,337.7	327.0	6.97%	4,922,178.68	6.97%	681.9
Ríos de la Sierra	5.74%	9,890,252.83	507.6	5.86%	10,953,446.1	527.9	12.21%	21,909,313.84	12.21%	1,090.3
Tulijáh - Chilapa	6.05%	10,342,547.67	541.4	6.17%	11,011,893.3	555.4	13.19%	23,826,298.83	13.19%	1,193.8
Total	6.41%	29,354,660.67	513.1	7.27%	33,173,851.1	577.6	13.60%	65,876,749.53	13.60%	1,107.5

Fuente: estimaciones del autor.

Mapa 7.7. Caída en la productividad de café a nivel municipal: escenarios de cambio climático.

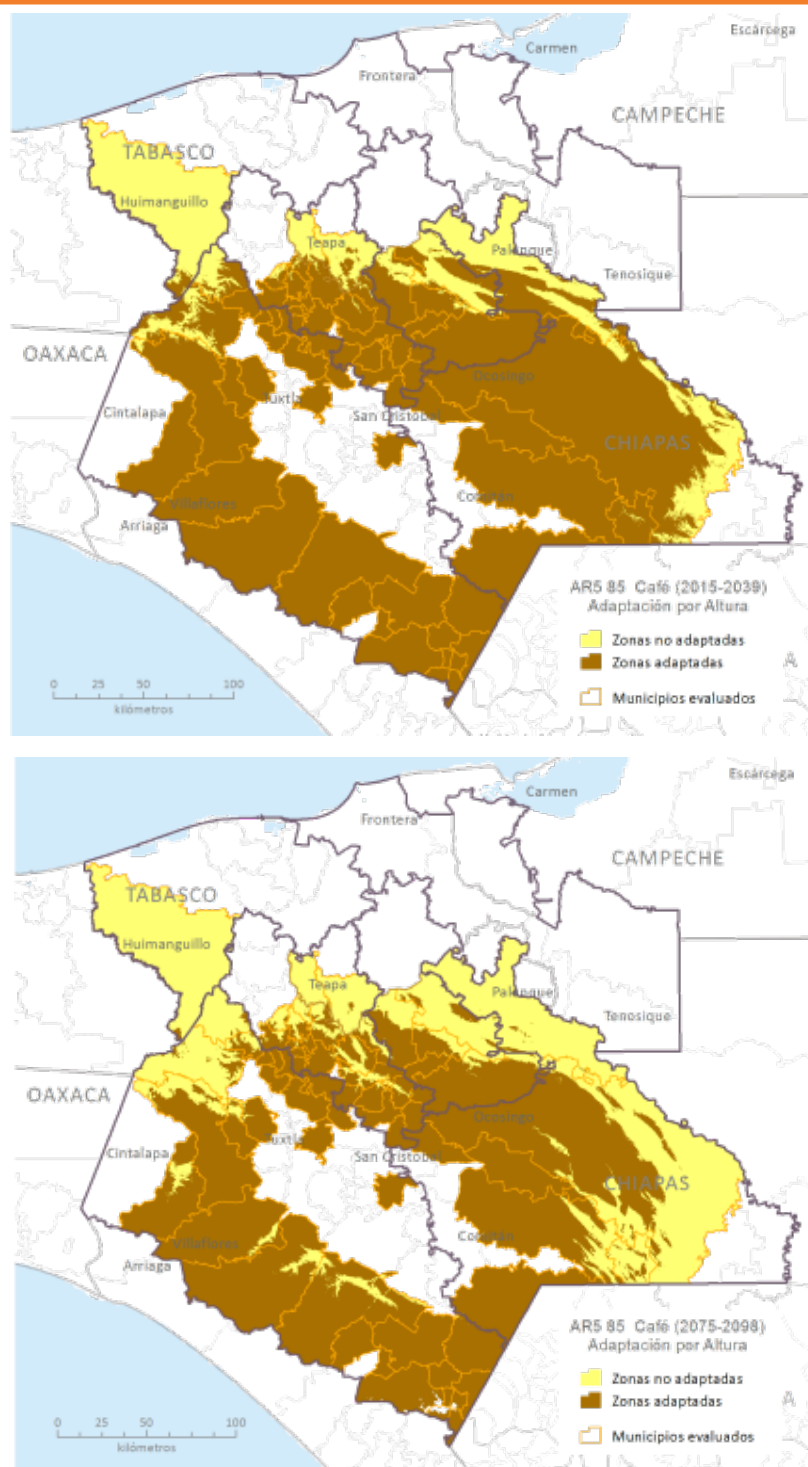


Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 7.23 se observa que los efectos del aumento del nivel del mar, el oleaje y mareas de tormentas; el impacto de tormentas tropicales; y el cambio en la deposición de sedimentos, afectarán directamente la línea costera a nivel planetario (Nicholls, 2002). A nivel local, cada región tendrá sus patrones de comportamiento en función a las características de cada ecosistema y a la relación entre línea de costa, oleaje, sistemas de tormentas y aporte de sedimentos, entre otros. En el caso de la zona costera de Tabasco, en la región del Delta del Grijalva-Usumacinta, uno de los efectos esperados es la pérdida de línea costera, cuyos efectos ya son visibles en las zonas más expuestas a oleaje y mareas de tormenta (PEACC Tabasco, 2012).

Los estudios realizados indican que se podría perder entre 5% y 8% de línea de costa de Tabasco (INECC, 2012; Vázquez *et al.*, 2010; Gama *et al.*, 2011; PEACC Tabasco, 2012), correspondiente a ecotipos muy particulares de la zona de análisis. De la costa tabasqueña, las principales áreas fisiográficas afectadas son: la línea costera, las llanuras aluvial y de inundación, y los sistemas de lomeríos y de vegas de río. En función a esta información, el estudio de valoración económica de Tabasco, desarrollada por Vázquez *et al.* (2010) y Tapia (2010), estima que la pérdida de línea costera y terrenos de cultivo por el aumento de un metro del nivel medio del mar sería de aproximadamente 47,153 ha (Cuadro 7.24 y 7.25; Mapa 7.9).

Mapa 7.8. Zonas con opción de adaptación de acuerdo a la altura para cultivo del café: escenario RCP 8.5 futuro cercano y lejano.



Cuadro 7.23. Impactos del cambio climático para las zonas costeras.

Factor climático	Dirección del cambio	Efectos biogeofísicos
Temperatura superficial del mar	Aumento.	Blanqueamiento de corales; migración de especies costeras, disminución de la incidencia de hielo en altas latitudes.
Intensidad de la precipitación/ escurrimiento superficial	Ciclo hidrológico intensificado, con amplias variaciones regionales.	Cambios en el suministro de sedimentos fluviales; cambios en el riesgo de inundación en zonas costeras bajas.
Oleaje	Poco conocido, pero significativa variabilidad temporal y espacial esperada.	Cambios y aumento en los patrones de erosión costera; cambios en los impactos por oleaje de tormentas.
Intensidad de ciclones tropicales	Poco conocido, pero significativa variabilidad temporal y espacial esperada.	Cambios en la ocurrencia de inundaciones y daños por ciclones tropicales.
CO ₂ atmosférico	Aumento.	Aumento de la productividad en ecosistemas costeros; disminución de los impactos de la saturación de CaCO ₃ en arrecifes coralinos.
Efectos biogeofísicos	Climáticos	No Climáticos
Inundación y daños Oleaje	Oleaje de tormentas, cambios morfológicos, suministro de sedimentos.	Suministro de sedimentos, manejo de inundaciones, adjudicación de tierras.
Efecto de arrastre	Escurrimiento superficial	Manejo de cuencas y uso de la tierra.
Pérdida de humedales (y cambios)	Fertilización con CO ₂ Suministro de sedimentos.	Suministro de sedimentos, espacio de migración, destrucción directa.
Erosión	Suministro de sedimentos, Marea y ciclones tropicales.	Suministro de sedimentos.
Intrusión de agua salada Aguas superficiales	Escurrimiento superficial.	Manejo de cuencas y uso de la tierra.
Aguas subterráneas	Precipitación.	Uso de la tierra, uso de acuíferos.
Aumento de capa freática /drenaje impedido	Precipitación.	Uso de la tierra, uso de acuíferos.

Fuente: Modificado de Nicholls, 2002.

Vázquez *et al.* (2010) estimaron que, en promedio, una hectárea del sistema costero en Tabasco tiene un valor de 2,636 USD al año, correspondiente a la valoración de servicios ambientales, productivos y de ecosistemas en la región⁵¹; tomando en cuenta esta estimación se esperaba que en promedio Tabasco perdería 124,296,679 USD al año, si no se realizaran medidas de adaptación.

⁵¹ Para tener mayor claridad en la forma de cálculo del proceso de valoración recomendamos leer el Cuadro 8 del estudio de Vázquez *et al.*, 2010.

Cuadro 7.24. Superficie afectada por un posible aumento de 1 metro sobre el nivel medio del mar.

Estado	Área afectada (km ²)	Porcentaje del territorio
Campeche	4,321	7.46%
Quintana Roo	4,011	9.47%
Tabasco	2,024	8.18%
Veracruz	3,591	5.00%
Tamaulipas	890	3.20%

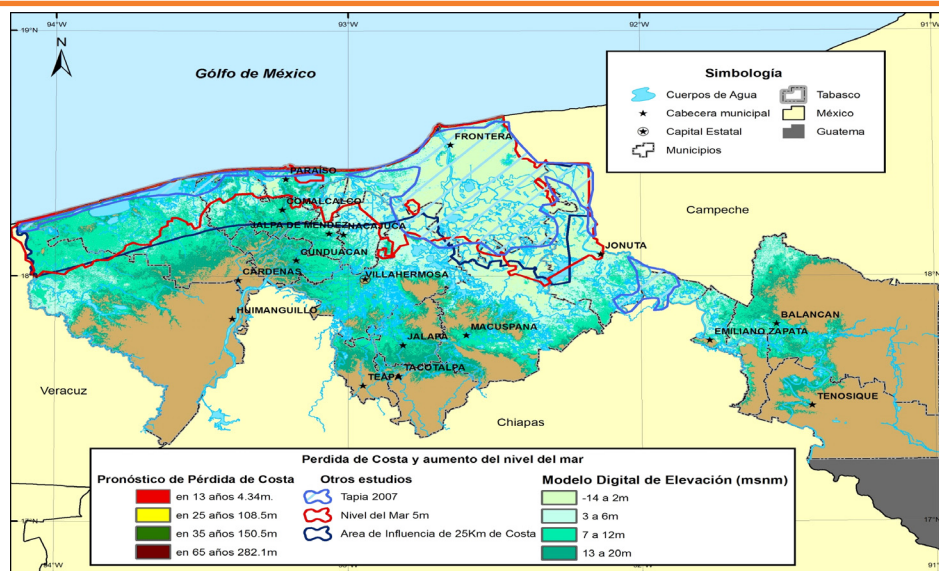
Fuente: INE-SEMARNAT, 2009.

Cuadro 7.25. Caracterización de las zonas fisiográficas de Tabasco correspondientes a zona de inundación (expresado en hectáreas).

Zonas fisiográficas	Ecosistemas naturales	Agro-ecosistemas	Total	Porcentaje
Costa	27,240	18,874	46,114	7.8%
Llanura aluvial	57,107	37,382	94,489	16%
Llanura de inundación	29,857	213,158	243,015	41.2%
Lomeríos	54,195	32,423	86,617	14.7%
Vega de río	60,516	58,668	119,184	20.2%
Total	228,914	360,505	589,419	100%

Fuente: Vázquez *et al.*, 2010.

Mapa 7.9. Pérdida de costa por el aumento del nivel del mar.



Los municipios más afectados por los fenómenos que resultan en pérdida de la línea costera, serán Cárdenas, Paraíso, Balancán, Cunduacán, Huimanguillo, Nacajuca y Jalpa De Méndez. Cabe señalar que las pérdidas estimadas anteriormente no corresponden a las de productividad de los sistemas de pozos petroleros de la región, y no consideran las posibles afectaciones en infraestructura de ductos, sistemas portuarios, poblaciones y carreteras existentes en la zona.

7.3.6 *Discusión y conclusión*

La presentación del modelo general de análisis y su aplicación para Chiapas y Tabasco, muestra la magnitud de la problemática a la que se enfrenta el país. El modelo confirma las hipótesis de comportamiento establecidos en la literatura, así como la relación entre mayores niveles de desastres y cambio climático. el incremento en la temperatura establece condiciones de estrés en la producción agrícola, la cual no reacciona de forma favorable ante el aumento o disminución de la precipitación y la ocurrencia de un evento climático extremo, tal como lo representan los huracanes.

De acuerdo al número de eventos climáticos presentados en las regiones de estudio, las que presentaron un mayor número de eventos (de acuerdo con información de CENAPRED y la Comisión Nacional del Agua -CONAGUA-) fueron: Alto Grijalva con 73; Bajo Grijalva 67, Ríos de la Sierra 34; Bajo Usumacinta 30; Lacandona-Chixoy 18; y Tulijáh ocho (Cuadro 7.26).

De acuerdo con el CENAPRED para el periodo 2000-2010, el Alto Grijalva presentó 42 eventos climáticos declarados como desastres, de los cuales, 27 correspondieron a lluvias, seis de fuertes vientos, tres por tormenta y uno por ciclón tropical. El Bajo Grijalva presentó 24 eventos declarados como desastres, 18 de ellos a causa de lluvias, dos por inundaciones y uno por ciclón tropical. El Bajo Usumacinta reportó ocho eventos climáticos declarados como desastre, de los cuales seis fueron por lluvias. La región denominada Lacandona-Chixoy, registró seis eventos declarados como desastres, cuatro de ellos asociados a lluvias. En el caso de Ríos de la Sierra, se presentaron 13 eventos climáticos declarados como desastre, entre los cuales, diez fueron por causa de lluvias. Por último, para Tulijáh el número de eventos fue de siete, cinco de éstos a causa de lluvias.

Respecto al total acumulado de la población impactada por los eventos climáticos extremos en los últimos diez años, se observa que la región con más personas afectadas fue el Alto Grijalva con 17,859,915; en segundo lugar se encuentra el Bajo Grijalva con 17,350,566; en tercer lugar Ríos de la Sierra con 6,949,656; en cuarto lugar Lacantún-Chixoy, afectando a 6,655,128; siguiendo Tulijáh con 3,324,212; y, por último, el Bajo Usumacinta, con un total de 2,662,705 (sección 7.3.1.2).

Cuadro 7.26. Cuenca Grijalva-Usumacinta: eventos climáticos extremos 2000-2010.

Por nivel municipal	
Región	Número de Eventos
Bajo Grijalva	74
Alto Grijalva	73
Ríos de la Sierra	27
Bajo Usumacinta	30
Lacandona - Comitán	18
Tulijáh - Chilapa	8

Fuente: CENAPRED, CNA.

Cada una de las regiones tiene su propia vulnerabilidad, consecuencia de las actividades económicas, infraestructura y población, entre otras variables. Por lo anterior, se desprenden del análisis los sectores y actividades vulnerables en las regiones que comprenden la cuenca del Grijalva-Usumacinta:

- Alto Grijalva: ganadería y la producción de maíz.
- Bajo Grijalva: producción de gas y crudo, infraestructura, producción de maíz y café.
- Bajo Usumacinta: infraestructura, ganadería y producción de maíz.
- Lacantún-Chixoy: ganadería, producción de maíz y café.
- Ríos de la Sierra: ganadería, producción de maíz y café.
- Tulijáh: producción de gas y crudo, infraestructura, ganadería, producción de maíz y café.

En el análisis realizado respecto a la seguridad alimentaria, con relación a la producción de maíz, se muestra que en promedio la caída de la productividad para cada una de las regiones sería: Alto Grijalva 4.67%, Bajo Grijalva 11.41%, Bajo Usumacinta 8.92%, Lacantún-Chixoy 2.61%, Ríos de la Sierra 11.71% y Tulijáh 8.22%.

Para el caso de la producción de café, la caída esperada en la productividad de este cultivo para cada una de las regiones es: Alto Grijalva 7.08%, Bajo Grijalva 28.55%, Lacantún-Chixoy 6.97%, Ríos de la Sierra 12.21% y Tulijáh con una caída de 13.19%.

Dependiendo de la magnitud del fenómeno, puede incluso condicionarse la permanencia de la población en áreas que registran mayores caídas en la productividad, lo que obliga a los más vulnerables a emigrar a otras regiones.

En el caso del ganado bovino, las pérdidas por el impacto de eventos climáticos extremos en la cuenca del Grijalva-Usumacinta arroja las siguientes cifras en pesos: Bajo Grijalva \$1,928,583; Bajo Usumacinta \$1,503,551; Alto Grijalva \$1,224,597; Lacantún-Chixoy \$854,162 ; Ríos de la Sierra \$842,103; y Tulijáh con \$120,328.

Es necesario ampliar el estudio y considerar otras regiones y cultivos; así como mejorar la base de información climática usada. La importancia de tomar en cuenta otros productos relevantes, como la caña de azúcar y los frutales, etc., radica en tener un mejor panorama sobre la seguridad alimentaria de la región y su relación con el cambio climático.

El limitado acceso a la información impidió considerar otros fenómenos relevantes que dañan la producción agrícola, como son las lluvias, los granizos y las precipitaciones intensas; por lo que en una segunda fase del estudio se espera incorporarlas. A pesar de esta limitación, el comportamiento y poder predictivo de los modelos es bastante elevado, y muestra de forma simple la no linealidad del daño frente al fenómeno y sus consecuencias de forma directa, sirviendo como un modelo exploratorio de una temática nueva y muy compleja de analizar.

La vulnerabilidad y los riesgos también se presentan en otros sectores de la economía de la cuenca Grijalva-Usumacinta y sus respectivas regiones (Cuadro 7.27):

- Bajo Grijalva: microempresas, comercio, manufactura, servicios y petróleo y gas.
- Alto Grijalva: microempresas, comercio.
- Ríos de la Sierra: microempresas, comercio, servicios.
- Tulijáh: microempresas, comercio, manufactura, servicios y petróleo y gas.

Respecto a la infraestructura en riesgo por eventos climáticos extremos, el análisis proporciona, de acuerdo a la información disponible, los rubros más vulnerables para cada una de las regiones (Cuadro 7.27).

Derivado del análisis anterior, se concluye que la cuenca Grijalva-Usumacinta presenta mayor vulnerabilidad en las regiones de Bajo Grijalva, Alto Grijalva y Ríos de la Sierra. El total de eventos climáticos en las regiones estudiadas fue de 174, concentrando con más de 290 mil personas afectadas al año en el periodo del 2000 al 2010. La estimación de la vulnerabilidad en seguridad alimentaria derivada de los impactos en la producción del maíz, mostró que 45,169 familias carecerían de alimentos anualmente por la caída en la producción bruta de gramos básicos. En el caso de los impactos a la producción de café, las pérdidas estimadas para estas tres regiones alcanzarían los \$37,128.272 anuales. Respecto a la vulnerabilidad de la pastura en el ganado bovino, el impacto potencial de las tres regiones asciende a \$3,995,283. En lo referente a la infraestructura de tratamiento de agua, 50 instalaciones resultaron vulnerables dentro de las tres regiones; para el caso del manejo de residuos, 273 instalaciones mostraron situación de riesgo para las tres regiones.

Esta información es un preámbulo al siguiente capítulo dedicado al análisis de la vulnerabilidad bajo el contexto ambiental, socioeconómico e institucional, así como un cruce de indicadores que apoyen la toma de decisiones para conocer las áreas de atención prioritaria para el PAOM.

Cuadro 7.27. Cuenca Grijalva-Usumacinta: resumen de impactos, daños y vulnerabilidad ante riesgos climáticos.

Región	Vulnerabilidades	Población afectada 2000 – 2010 reportados por CENAPRED	Daño anual para el sector agropecuario y la infraestructura civil (miles de pesos)	Eventos climáticos declarados desastres por CENAPRED	Efectos esperados por cambio climático		
					Seguridad alimentaria	Sectores económicos vulnerables	Infraestructura en riesgo
Alto Grijalva	Ganadería Producción de maíz y café.	43,112*	1,305,919	Ciclones tropicales (1) Tormentas (3) Fuentes vientos (6) Lluvias (27) Inundaciones (2) Sequías (3)	Descenso en la productividad de café en un 7.08% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 4.67% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$1,224,597.	Microempresas. Comercio.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal.
Bajo Grijalva	Producción de crudo y gas Infraestructura Ganadería Producción de maíz y café	1,515,088	1,967,747	Ciclones Tropicales (1) Fuentes vientos (1) Lluvias (18) Inundaciones (2) Sequías (2)	Descenso en la productividad de café en un 28.55% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 11.41% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$1,928,583.	Microempresas. Comercio. Actividades de manufactura. Servicios. Petróleo y gas. Línea de costa.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Infraestructura para la explotación de crudo y gas. Educativa en todos los niveles.
Bajo Usumacinta	Infraestructura Ganadería Producción de maíz	4,580	1,512,472	Lluvias (6) Inundaciones (1) Sequías (1)	Descenso en la productividad de maíz en un 8.92% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$1,503,551.		Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Educativa en todos los niveles.
Lacantún-Chixoy	Ganadería Producción de maíz y café	2,165	872,569	Lluvias (4) Fuentes vientos (2)	Descenso en la productividad de café en un 6.97% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 2.61% debido a un evento climático extremo. Ganado Bovino afectado por un evento climático extremo \$854,162.		Red de carreteras: municipal, estatal y federal.
Ríos de la Sierra	Ganadería. Producción maíz y café	12,296	875,676	Fuentes vientos (2) Lluvias (10) Inundaciones (1)	Descenso en la productividad de café en un 12.21% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 11.71% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$842,103.	Microempresas. Comercio. Servicios.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Educativa en todos los niveles.
Tulijáh-Chilapa	Producción de crudo y gas Infraestructura Ganadería Producción de maíz y café	7,796	156,595	Lluvias (5) Inundaciones (1) Sequías (1)	Descenso en la productividad de café en un 13.19% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 8.22% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$120,328.	Microempresas. Comercio. Actividades de manufactura. Servicios. Petróleo y Gas.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Infraestructura para la explotación de crudo y gas. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Educativa en todos los niveles.

* El total de personas afectadas es de 166,324 por el huracán Stan, pero esto incluye los municipios de la costa de Chiapas que no están considerados en este estudio.

Fuente: Estimaciones del autor.



8

**Análisis de
vulnerabilidad
ante el cambio
climático**

8. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

El estudio de la vulnerabilidad es llevado por la comunidad científica como un mecanismo para guiar el análisis normativo de acciones que conduzcan al bienestar de las personas mediante reducción de riesgos (Adger, 2006).

En el sistema de la cuenca Grijalva-Usumacinta, la vulnerabilidad está fuertemente vinculada con eventos hidrometeorológicos extremos, y su análisis lleva a relacionar el contexto ecológico, social y económico, así como su interacción con dichos eventos y el cambio climático con una visión de cuenca.

La vulnerabilidad es un proceso con una expresión local y dinámica, tanto en el tiempo como en el espacio (INECC, 2012). Por tal motivo, este estudio centra su análisis de vulnerabilidad en el nivel municipal e identifica y prioriza zonas con base en este indicador. Esto lleva a identificar los municipios críticos para la operación e implementación de acciones del Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM) de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.

El capítulo tiene dos secciones principales. La primera analiza los resultados relevantes para el sistema de la cuenca Grijalva-Usumacinta presentados en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), publicada el 03 de junio del 2013, y en su *Anexo Metodológico del Diagnóstico de Adaptación* (Gobierno de México, 2013b), así como los resultados del *Marco Conceptual de Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad* (INECC-GGGI, 2013); este último es una referencia importante en la ENCC. Estos documentos presentan un análisis de vulnerabilidad a nivel municipal, por lo que son clave para el desarrollo del PAOM.

La segunda sección presenta el análisis de vulnerabilidad basado en el marco conceptual de presión-estado-respuesta (SPR, por su siglas en inglés), propuesto por la Organización para Cooperación Económica y Desarrollo (OECD, por su siglas en inglés). El análisis considera indicadores ambientales, socioeconómicos y de capacidad institucional. Como parte del proceso se llevó a cabo un taller participativo a nivel regional, organizado el 17 de mayo de 2013 en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, cuya agenda incluyó el uso de escenarios y la ponderación de variables para construir una matriz de vulnerabilidad. Asimismo, los resultados del taller fueron analizados y procesados para construir un índice de vulnerabilidad.

8.1 Diagnóstico de vulnerabilidad: perspectiva nacional

Diversas instituciones federales han desarrollado índices o atlas de vulnerabilidad frente al cambio climático, con el objetivo de contribuir a la discusión sobre la vulnerabilidad social y las políticas de adaptación y prevención de riesgo de desastres (INECC, 2012; INECC-GGGI, 2013). Estos índices son útiles en los procesos de toma de decisiones

porque permiten visualizar en mapas los indicadores relevantes frente al cambio climático, importantes para la construcción y el diseño del PAOM. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que cada comunidad puede requerir información específica que no es posible integrar en un índice de vulnerabilidad con una perspectiva nacional o regional, ya que éstos solo utilizan datos parciales del contexto local (INECC, 2012).

Esta sección presenta los resultados relevantes para la cuenca del Grijalva-Usumacinta, en particular para los estados de Chiapas y Tabasco, expuestos en el diagnóstico de la ENCC y en el Marco Conceptual de Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad (INECC-GGGI, 2013). Es importante mencionar que estos documentos son de reciente publicación y los resultados están aún en proceso de validación⁵².

La ENCC presenta un diagnóstico de riesgos y vulnerabilidad ante el cambio climático que se basa en el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (2012). La Figura 8.1 presenta un resumen de los resultados principales.

El análisis de vulnerabilidad climática cruza información de exposición, riesgos climáticos e índices socio-económicos para identificar y diferenciar el estado de vulnerabilidad de la población y municipios. Se presenta información importante para el análisis de vulnerabilidad del sistema Grijalva-Usumacinta. La ENCC identifica la infraestructura energética estratégica en zonas identificadas con peligro alto y muy alto por inundaciones; Tabasco, la zona del Bajo Grijalva, se identifica como zona prioritaria (Mapa 4.2, Instalaciones de PEMEX en Tabasco, Capítulo 4).

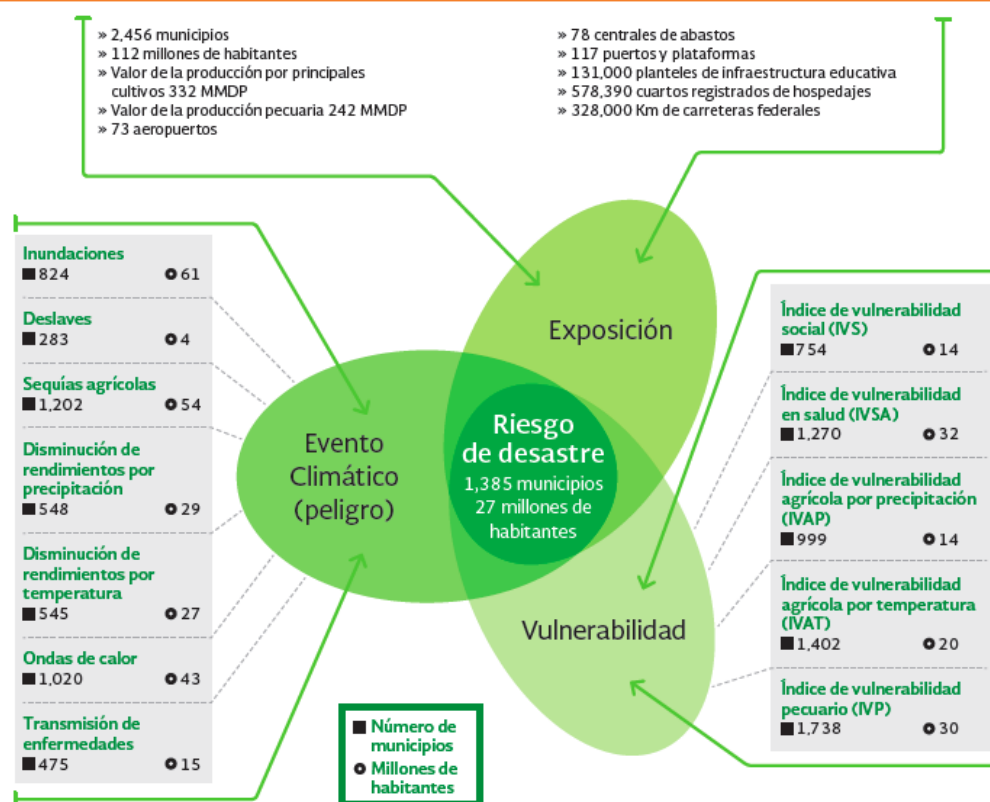
8.1.1 Resultados principales

El Mapa 8.1 muestra los municipios identificados por la ENCC con alta vulnerabilidad y alto riesgo de ocurrencia de eventos climáticos, identificandos en varios municipios de Chiapas y Tabasco⁵³. Se puede observar que casi toda la región del Lacantún-Chixoy y la de Tulija-Chilapa son de alta vulnerabilidad y de alto riesgo ante eventos climáticos. Asimismo, la zona limítrofe de Ríos de la Sierra y Alto Grijalva también están categorizadas como de alta vulnerabilidad. La zona norte tanto del Bajo Grijalva como del Bajo Usumacinta también presentan alta vulnerabilidad, debido, principalmente, al

⁵² El INECC y el Global Green Growth Institute (GGGI) han empezado el proceso de licitación del proyecto “*Technical inputs for the preparation of Mexico’s Special Program on Climate Change*”, que uno de sus objetivos es validar con actores relevantes los resultados del documento *Marco Conceptual de Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad* (INECC-GGGI, 2013) para proveer insumos al próximo Programa Especial de Cambio Climático (PECC). Dicho documento es parte esencial de la ENCC (Fuente: entrevista telefónica con personal del INECC).

⁵³ No se ha tenido acceso a la base de datos de los municipios específicos hasta el momento, pero el equipo consultor buscará integrar esta información al estudio a la brevedad.

Figura 8.1. Resultados principales del diagnóstico de vulnerabilidad en la ENCC.



Fuente: Gobierno de México, 2013a.

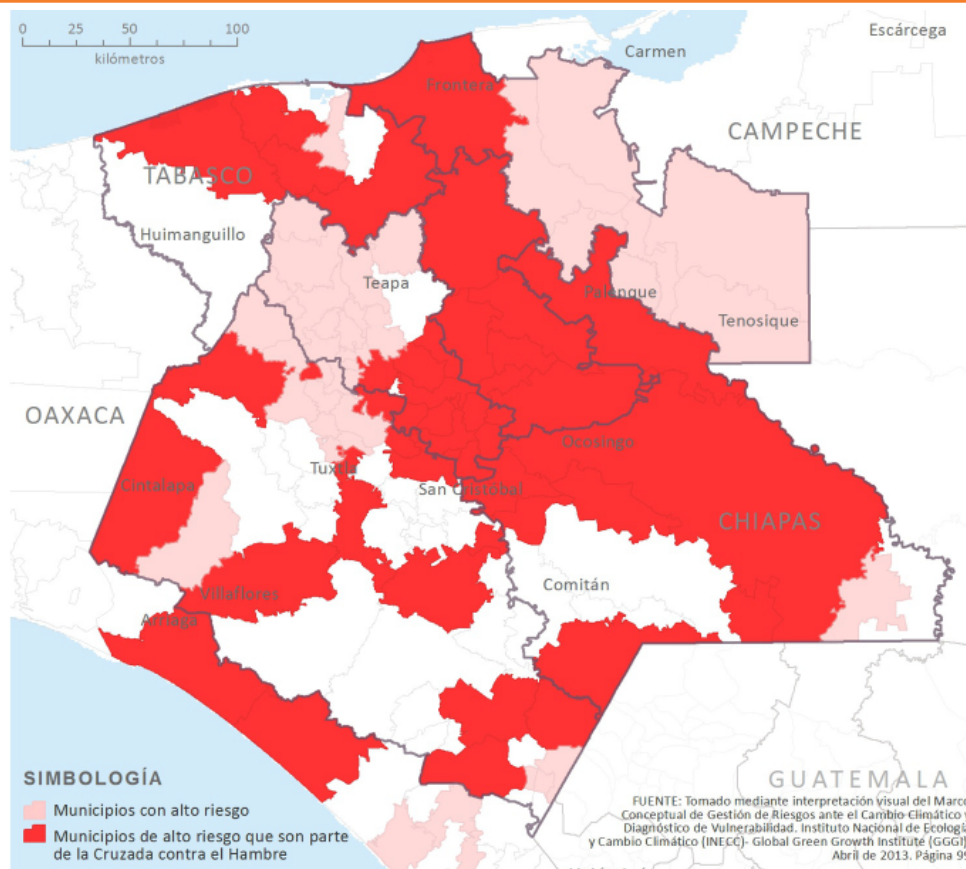
Nota: Los datos de eventos climáticos fueron calculados a partir de información de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia (CRU por sus siglas en inglés) y del Centro Mario Molina (CMM).

riesgo de intrusión del mar por el aumento del nivel del mar, además de la exposición a los fenómenos hidrometeorológicos en el Golfo de México.

Prácticamente, todos los municipios de la zona del Tulijáh-Chilapa y del Bajo Usumacinta son altamente vulnerables y presentan alto riesgo de ocurrencia de eventos climáticos. Asimismo, los municipios de la costa en el Bajo Grijalva y los municipios ubicados en los Altos de Chiapas, tanto en Ríos de la Sierra como en el Alto Grijalva, también presentan alta vulnerabilidad. En el Lacantún-Chixoy, la mitad de los municipios son altamente vulnerables y son principalmente los que están ubicados en la Selva Lacandona.

Los principales riesgos en estas zonas son: sequías agrícolas, disminución de rendimientos productivos por las altas temperaturas, sequías pecuarias, transmisión de enfermedades, ondas de calor, inundaciones y deslaves (Anexo Capítulo 8).

Mapa 8.1. Municipios con alta vulnerabilidad y alto riesgo ante eventos climáticos.



Basado en Gobierno de México (2013a) y en proyecciones climáticas de las Red Mexicana de Modelación del Clima (CICESE, IMTA, CCA-UNAM, SMN, INECC). Índice de vulnerabilidad de CENAPRED, construidos con información del INEGI y la SSA; valores de riesgo con base en información de INEGI. Metodología de qbic. INECC y GGGI.

La cuenca Grijalva-Usumacinta es considerada de alta prioridad en la ENCC. El Marco Conceptual de Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad (INECC-GGGI, 2013) brinda un mayor detalle por tipo de amenaza en la identificación de municipios de alta vulnerabilidad al desagregar información de los riesgos. Es importante considerar este marco conceptual en la identificación de opciones de intervención del PAOM. Sin embargo, la metodología para el desarrollo de dicho marco no ha sido validada por actores regionales y, por lo tanto, pueden existir otras condiciones locales a considerar para tener un mejor entendimiento de las características de la vulnerabilidad en la cuenca. La próxima sección presenta un acercamiento a la percepción de actores regionales sobre la vulnerabilidad de la región.

8.2. Análisis de vulnerabilidad: perspectiva regional

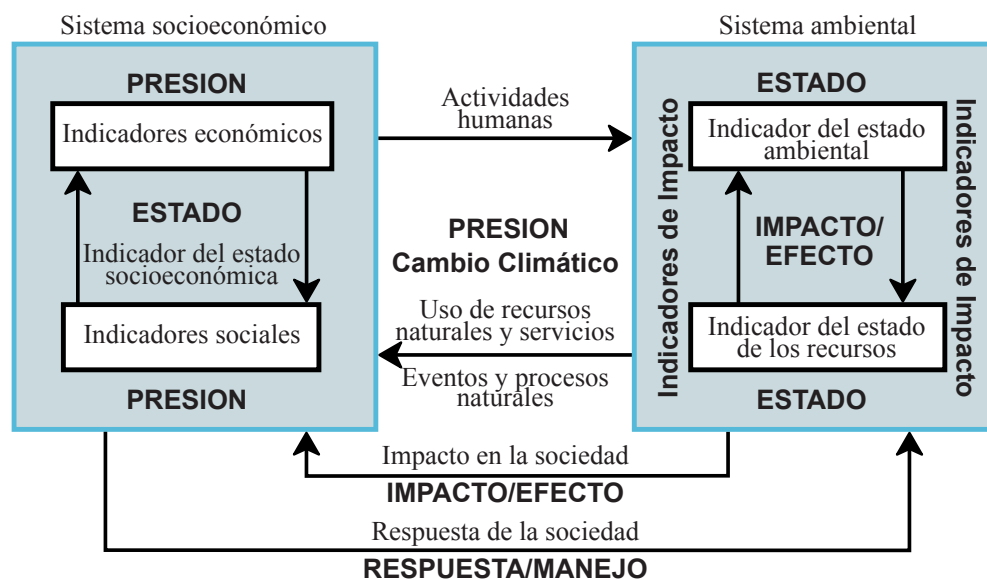
El 17 de mayo de 2013, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, se llevó a cabo un taller participativo a nivel regional, donde intervinieron 34 personas, principalmente representantes de las

autoridades estatales⁵⁴ y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de Chiapas y Tabasco.

Uno de los objetivos principales del taller fue establecer una dinámica participativa para analizar la vulnerabilidad regional. La metodología considera el marco conceptual de presión-estado-respuesta (Figura 8.2) y una matriz de vulnerabilidad, tomando como unidad territorial los municipios y el contexto de diseño e implementación del PAOM. La matriz se integró con variables clasificadas en tres categorías: 1) estado ambiental de la cuenca, 2) factores socioeconómicos que hacen sensible a la población y sus comunidades ante riesgos climáticos, y 3) factores sobre la capacidad institucional municipal para responder ante riesgos climáticos. A cada variable se le asignó un indicador.

El marco conceptual SPR se utilizó para contextualizar las discusiones, junto con la presentación de dos escenarios al inicio de las mesas de trabajo. Posteriormente, se formaron dos grupos de igual número de participantes. El Recuadro 8.1 presenta el resumen de los puntos principales presentados para cada escenario al inicio del trabajo participativo.

Figura 8.2. Marco conceptual presión-estado-respuesta (SPR).



Fuente: Adaptado de Quiroga Martínez, 2007.

⁵⁴ Entre las instituciones estatales representadas en el taller se contó con autoridades de medio ambiente, protección civil, planeación, economía y finanzas, ordenamiento territorial y desarrollo.

Recuadro 8.1. Escenarios Grijalva 2030 y Usumacinta 2030 para las mesas de trabajo.

Escenario 1: Grijalva 2030-2050

- Disminución significativa de escurrimientos e impactos en la producción de energía hidroeléctrica con repercusiones en el balance energético nacional.
- Eventos hidrometeorológicos extremos: a) inundaciones en Villahermosa y b) afectación de infraestructura estratégica, por ejemplo, Petroleos Mexicanos (PEMEX).
- Impactos por sequías extremas y por el cambio en patrones de precipitación y temperatura en la producción agrícola y ganadera.
- Pérdida de línea costera por erosión y aumento en el nivel del mar.

Escenario 2: Usumacinta 2030-2050

- Aumento en la presión antropogénica y por los impactos del cambio climático en el capital natural, con una disminución de los servicios ambientales y pérdida de biodiversidad.
- Impacto en la agricultura de subsistencia con fuertes afectaciones sociales y degradación del suelo. Por ejemplo, pérdida en la producción del maíz para autoconsumo, lo que lleva a un aumento de la expansión del área agrícola destinada a esta práctica.
- Pérdida de línea costera por erosión y aumento del nivel del mar.

El taller tuvo como propósito obtener opiniones sobre la matriz y ponderar los indicadores. Se asignaron pesos entre 1 y 3, donde 3 se considera un factor crítico, 2 un factor moderado y 1 un factor leve a una matriz de vulnerabilidad. Una vez definidos los indicadores y su valoración, se analizaron y cruzaron todos los indicadores, utilizando el sistema de información geográfica, lo que llevó a obtener puntajes que definieron la prioridad de mayor a menor vulnerabilidad en los municipios en la región. El Cuadro 8.1 presenta la matriz y la valoración obtenida durante el taller.

Al analizar los resultados del taller se tenían varias opciones para el uso de las ponderaciones: una era sacar el promedio de las dos mesas, bajo el supuesto de que se organizaron por cuenca como modo de facilitación; otra era ponderar de manera diferente los municipios, lo cual llevaría a perder opciones de comparación. La decisión fue utilizar la ponderación de la mesa de trabajo Grijalva, por las siguientes razones: a) en la categoría ambiental, la mesa de trabajo Usumacinta ponderó a las cuatro variables con un valor de 3, es decir, todas pesan igual, por lo tanto, existe una mejor diferenciación de los pesos en la mesa de trabajo Grijalva; b) en la categoría

Cuadro 8.1. Matriz de vulnerabilidad ponderada.

Agrupación de variables ambientales	Indicador	Ponderación de valores Grijalva-Usumacinta	
Cambio de uso de suelo	Deforestación.	3	3
Degradación del suelo	Degradación química, erosión hídrica, erosión eólica, degradación física.	2	3
Zonas de inundación	Áreas de inundación histórica.	3	3
Servicios ambientales	Regiones terrestres y marinas prioritarias para la conservación. Zonas prioritarias para el pago por servicios ambientales.	1	3
Agrupación de variables socioeconómicas	Indicador	No Climáticos	
Población	Densidad de la población a nivel municipal. Población futura 2030 y 2050.	2	3
Población indígena	Presencia indígena a nivel municipal.	2	2
Índice de Desarrollo Humano (IDH)*	IDH a nivel municipal 2005.	1	3
Índice de marginación**	Índice de marginación a nivel municipal 2010.	3	3
Índice Global de Riesgo***	Índice Global de Riesgo a nivel municipal para el 2012.	3	3
Agrupación de variables capacidades institucionales	Indicador	No Climáticos	
Índice de Vulnerabilidad Social (IVS)	Grado de vulnerabilidad social a nivel municipal.	3	3
Ordenamiento a nivel municipal	Publicación de ordenamientos territoriales a nivel municipal. Publicación de ordenamientos a nivel comunitario.	3	3
Protección Civil	Unidades administrativas municipales de Protección Civil. Atlas municipal de riesgos.	2	3
Autoridad ambiental	Existencia de unidades administrativas municipales relacionadas con medio ambiente.	2	3
Comité municipal para el desarrollo rural sustentable	Existencia del comité.	1	3
Atlas estatales de riesgo	Riesgos hidrometeorológicos.	2	3

* El IDH combina datos a nivel municipal sobre mortalidad infantil, analfabetismo en personas mayores de 15 años, tasa de población de 6 a 24 años inscritos en escuelas, e ingreso per cápita basado en datos por hogar.

** Datos: 1) porcentaje de la población analfabeta de 15 años o más, 2) porcentaje de población sin primaria completa de 15 años o más, 3) porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado, 4) porcentaje de ocupantes en viviendas sin energía eléctrica, 5) porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada, 6) porcentaje de ocupantes en viviendas con algún nivel de hacinamiento, 7) porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra, 8) porcentaje de población en localidades con menos de 5,000 habitantes, y 9) porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos.

*** Incluye datos sobre fenómenos hidrometeorológicos: sequías, tormentas eléctricas, ciclones, huracanes, ondas tropicales, temperatura máximas extremas, masas de aire y frentes, heladas, granizo, nevadas, vientos fuertes e inundaciones. Fenómenos geológicos: fallas y fracturas, sismos, tsunamis o maremotos, vulcanismo, deslizamientos, derrumbes, flujos (lodo, tierra, suelo, avalancha de detritos, reptación, tierra y agua por actividad volcánica o lahar), hundimientos y erosión. En algunos casos los fenómenos hidrometeorológicos pueden intensificar los riesgos geológicos, por ejemplo una lluvia extrema en una zona susceptible a deslizamiento o erosionada puede causar pérdidas materiales y humanas importantes (SEDESOL, 2012).

socioeconómica, la única diferencia en la ponderación se encontró en el IDH, donde la mesa de trabajo Grijalva le asignó 1 de ponderación y la mesa Usumacinta 3, pero se observó que hay redundancia positiva oculta para el IDH, por ello, fue mejor utilizar el valor bajo que asignó la mesa de trabajo Grijalva.

Asimismo, después del análisis no se pudieron procesar las variables de la categoría de capacidades institucionales para este documento por las siguientes razones: a) porque no se obtuvo la información para hacerlo; y b) porque se identificó que su procesamiento sesgaría los resultados al disminuir la vulnerabilidad de los municipios más grandes. Se continúa trabajando en este estudio para conseguir y procesar la información, así como para complementar el análisis.

Sin embargo, es importante señalar que desde el diseño de la matriz y en el taller, se identificó la falta de variables para medir de forma adecuada las capacidades institucionales a nivel municipal, con relación a su capacidad adaptativa. En el taller se señaló que la existencia de unidades administrativas de Protección Civil o medio ambiente no es un indicador sobre capacidades locales. Además, se argumentó que la existencia de estas unidades a nivel municipal es clave, así como la participación de interlocutores a nivel local para la implementación de políticas de cambio climático y protección civil. Es clara la necesidad de avanzar en el desarrollo de indicadores específicos para evaluar la capacidad institucional a nivel municipal para la adaptación planeada.

8.2.1. Cálculo de los indicadores de vulnerabilidad regional

En el caso de la categoría ambiental, para calcular el índice se tomaron los cinco indicadores: 1) deforestación; 2) degradación química y física, erosión hídrica y eólica; 3) áreas de inundación histórica; 4) regiones terrestres y marinas prioritarias para la conservación; y 5) zonas prioritarias para el pago por servicios ambientales. Para cada municipio se multiplicó el valor del dato por el de la ponderación y se sumaron los cuatro términos. El resultado obtenido por municipio se dividió entre el valor más alto obtenido, de tal forma que todos los valores quedaron comprendidos entre 0 y 1 (índice).

En el caso de la categoría socioeconómica, se sumaron los seis indicadores obtenidos: 1) densidad de la población a nivel municipal; 2) población futura 2030 y 2050; 3) presencia indígena a nivel municipal; 4) IDH a nivel municipal 2005; 5) índice de marginación a nivel municipal 2010; y 6) índice de riesgo global a nivel municipal para el 2012; y posteriormente se normalizó a fin de que los indicadores tuvieran escalas comparables. Una vez que se obtuvieron los índices de cada una de las dos categorías, se calculó el índice síntesis, para lo cual se normalizaron los dos índices.

La categoría ambiental fue la más consistente, sus cinco variables e indicadores mostraron independencia lineal, es decir, no existe redundancia entre los indicadores,

cada uno muestra claramente lo que mide y es tomado de una fuente de información distinta.

En la categoría socioeconómica hubieron problemas de redundancia al hacer el procesamiento del IDH y el índice de marginación, debido a que los dos utilizan datos sobre educación y salud. El Índice Global de Riesgo incluye variables que se repiten en la categoría ambiental, y ninguna es socioeconómica; sin embargo, se puede pensar como una aproximación a la exposición de riesgos climáticos.

La categoría capacidades institucionales es muy inconsistente. Los indicadores de ordenamiento municipal, unidades administrativas para protección civil y atlas municipal de riesgos, responden a políticas estatales y resultan factores comunes, no útiles para diferenciar condiciones. La presencia de la autoridad ambiental depende prácticamente del tamaño del municipio, además de que no es un indicador direccional. La información más relevante es la existencia de ordenamientos comunitarios, pues da señales del capital social.

8.3 Resultados

Esta sección presenta el Índice de Vulnerabilidad Grijalva-Usumacinta, así como los resultados para las categorías ambiental y socioeconómica. La visualización de los índices parciales permite entender mejor el Índice de Vulnerabilidad y pueden ser una herramienta importante para apoyar la toma de decisiones.

8.3.1 Índice de Vulnerabilidad Grijalva-Usumacinta

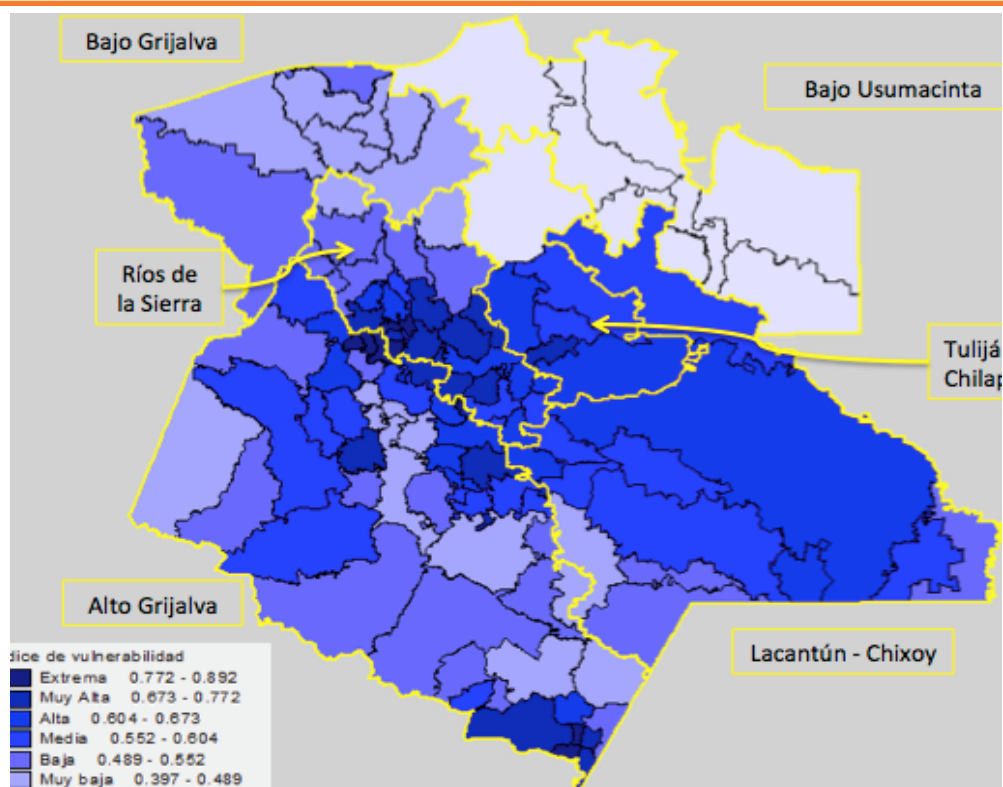
De acuerdo con los resultados, los municipios más vulnerables se encuentran en el estado de Chiapas. El Cuadro 8.2 muestra que la cuenca del Alto Grijalva, principalmente en los municipios de El Porvenir, La Grandeza, Ocotepec, Santiago el Pinar y Pantepec, cuenta con muy alta vulnerabilidad. Asimismo, los altos y el centro de la cuenca de Ríos de la Sierra, en los municipios de Rayón, Ixhuatán y San Andrés Duraznal, concentra también municipios con extrema y alta vulnerabilidad. Si bien no se identifica con vulnerabilidad extrema, la cuenca Lacantún-Chixoy presenta vulnerabilidad alta a media en toda la zona (Mapa 8.2).

En general, estas zonas de alta vulnerabilidad coinciden con el índice nacional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Instituto Global sobre Crecimiento Verde (GGGI) (INECC-GGGI, 2013). Sin embargo, los resultados del INECC muestran mayor vulnerabilidad en las costas del Bajo Usumacinta que en este índice, principalmente por las sequías agrícolas y las pecuarias. Asimismo, de acuerdo con dicho informe, las costas del Golfo de México presentarán ondas de calor cada vez más frecuentes; esto propiciará que enfermedades transmitidas por vectores,

Cuadro 8.2. Resultados del Índice de Vulnerabilidad regional por municipio.

Agrupamiento	Municipio	Índice de Vulnerabilidad regional
Alto Grijalva	El Porvenir	0.892
Alto Grijalva	La Grandeza	0.878
Alto Grijalva	Ocotepec	0.849
Alto Grijalva	Santiago el Pinar	0.835
Alto Grijalva	Pantepec	0.825
Ríos de la Sierra	Rayón	0.822
Ríos de la Sierra	Ixhuatán	0.81
Alto Grijalva	Tapalapa	0.772
Ríos de la Sierra	San Andrés Duraznal	0.756
Ríos de la Sierra	Huitiupán	0.756
Tulijáh - Chilapa	Yajalón	0.733
Alto Grijalva	San Cristóbal de las Casas	0.731
Ríos de la Sierra	Sabanilla	0.73
Alto Grijalva	Siltepec	0.729
Ríos de la Sierra	Amatán	0.726

Mapa 8.2. Vulnerabilidad Grijalva-Usumacinta.



como el dengue y el paludismo, sean más comunes en la zona, problemática en la que México actualmente ocupa el segundo lugar en América Latina.

En la siguiente sección se presentan los resultados de las tres categorías del índice regional, con el objetivo de entender mejor la dinámica entre la vulnerabilidad y el contexto socioecológico. Este ejercicio de desagregación de los componentes del índice facilitará la toma de decisiones y el diseño de la política pública, basado en el contexto local y las diferentes vulnerabilidades de cada región de la cuenca. El Anexo del Capítulo 8 presenta la información desagregada de cada municipio.

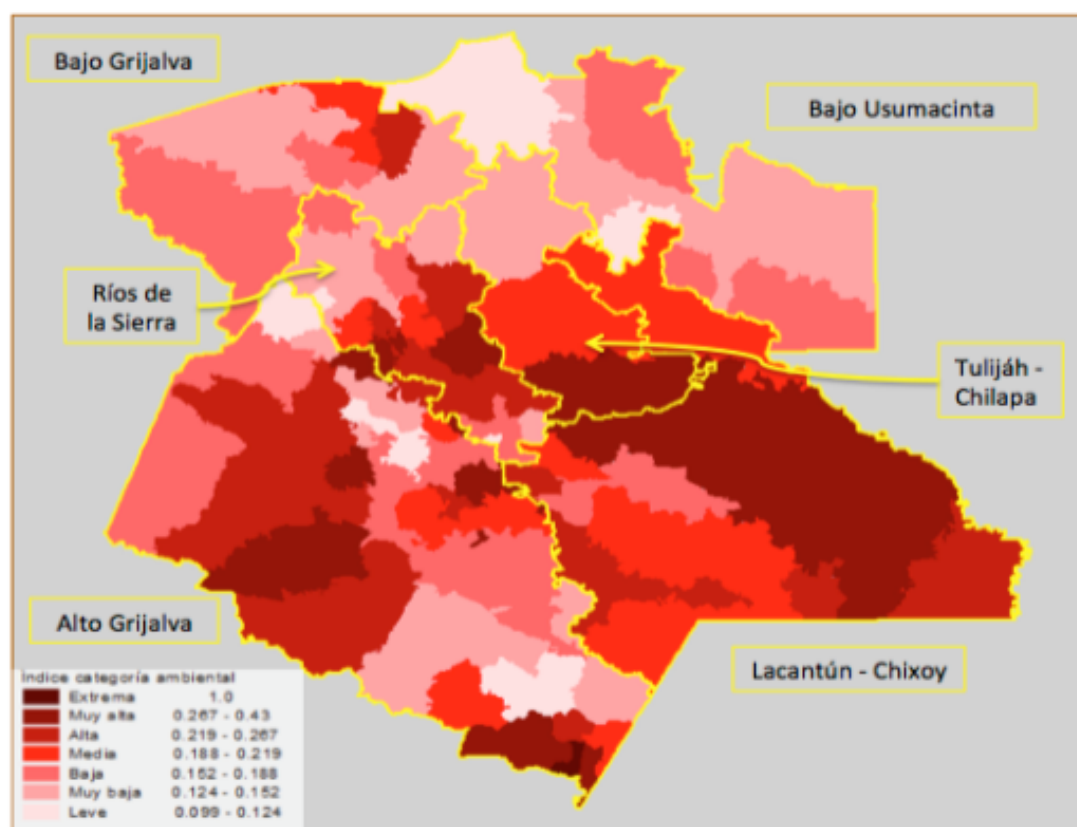
8.3.2 Resultados del Índice Ambiental Grijalva-Usumacinta

Como se mencionó en la sección 8.2.1, el Índice Ambiental es la categoría más consistente. Los cinco indicadores son independientes entre sí, miden asuntos totalmente diferenciados y, en conjunto, dan una buena aproximación del contexto ambiental y su relación con la vulnerabilidad ante el cambio climático. Los resultados indican la presencia de extrema y muy alta vulnerabilidad en el sur del Alto Grijalva en los municipios de La Grandeza, El Porvenir, Siltepec, Mazapa de Madero y Bejucal de Ocampo. En la región del centro y los altos de Chiapas, los municipios de Ocotepec, Tuxtla Guitérrez, Nicolás Ruiz, Pantepec, Tapalapa, Santiago el Pinar y Villaflores también son de alta y muy alta vulnerabilidad ambiental. Rayón, Ixhuatán y Sabanilla, en la cuenca de Ríos de la Sierra, y Yajalón, en la cuenca del Tulijáh Chilapa, también son municipios de alta y muy alta vulnerabilidad ambiental (Mapa 8.3 y Anexo Capítulo 8).

La interpretación de los datos a nivel regional merece especial atención una vez que se desagregan. El único municipio identificado como de extrema vulnerabilidad ambiental, La Grandeza, en la región del Alto Grijalva, es muy pequeño y ha sufrido una deforestación total en el periodo de estudio, por lo cual el valor del indicador de cobertura forestal fue de 1.00 (Cuadro 8.3), por lo que fue clasificado con vulnerabilidad extrema, a pesar de que cuenta con valores bajos en los indicadores de degradación y riesgos. Por otro lado, el municipio de Santiago el Pinar, en la región del Alto Grijalva, es prioritario en el Índice de Vulnerabilidad Ambiental, ya que presenta un valor muy alto en el indicador de servicios ambientales, pero un valor equivalente a cero en el de riesgos, con vulnerabilidad nula a los fenómenos hidrometeorológicos.

En contraste, el municipio de Amatenango de la Frontera, en la misma región, es altamente vulnerable a los riesgos hidrometeorológicos, pero su Índice de Vulnerabilidad Ambiental es bajo debido a los valores que obtuvo en los otros indicadores. Asimismo, en la región de Ríos de la Sierra, Sitalá no aparece como prioritario en el Índice Ambiental, a pesar de que es uno de los cinco municipios con mayor degradación de suelos (Cuadro 8.4). En este sentido, como muestra el Mapa 8.4, las zonas del Bajo Usumacinta, Bajo Grijalva y Ríos de la Sierra tienen mayor importancia por su alta

Mapa 8.3. Índice de Vulnerabilidad Ambiental.



Cuadro 8.3. Municipios con mayor vulnerabilidad por cobertura forestal.

Agrupamiento	Municipio	Índice cobertura forestal
Alto Grijalva	La Grandeza	100
Alto Grijalva	Socoltenango	4.75
Alto Grijalva	Nicolás Ruíz	4.65
Ríos de la Sierra	Sunuapa	3.88
Ríos de la Sierra	Jalapa	3.7
Bajo Usumacinta	Balancán	3.62
Bajo Usumacinta	Catazajá	3.57
Ríos de la Sierra	Teapa	3.57
Alto Grijalva	Venustiano Carranza	3.36
Alto Grijalva	Frontera Comalapa	3.35

Cuadro 8.4. Municipios con mayor vulnerabilidad a los riesgos hidrometeorológicos.

Agrupamiento	Municipio	Índice de riesgo a efectos hidrometeorológicos
Alto Grijalva	El Porvenir	31.9
Alto Grijalva	Mazapa de Madero	21.3
Tulijáh-Chilapa	Yajalón	11.7
Alto Grijalva	Bejucal de Ocampo	11.1
Bajo Grijalva	Nacajuca	10.9
Ríos de la Sierra	Ixhuatán	9.2
Ríos de la Sierra	Ixtacomitán	8.9
Ríos de la Sierra	Teapa	8.5
Alto Grijalva	Ocotepec	8.2
Alto Grijalva	Amatenango de la Frontera	7.9

Cuadro 8.5. Municipios con mayor vulnerabilidad por sus servicios ambientales.

Agrupamiento	Municipio	Índice servicios ambientales
Ríos de la Sierra	Rayón	99.3
Alto Grijalva	La Grandeza	86
Ríos de la Sierra	Tapilula	76.5
Alto Grijalva	Ocotepec	75
Ríos de la Sierra	Ixhuatán	75
Alto Grijalva	Santiago el Pinar	75
Alto Grijalva	Pantepec	74.2
Alto Grijalva	Tapalapa	74
Lacandona - Comitán	Marqués de Comillas	73.1
Lacandona - Comitán	Maravilla Tenejapa	71.5

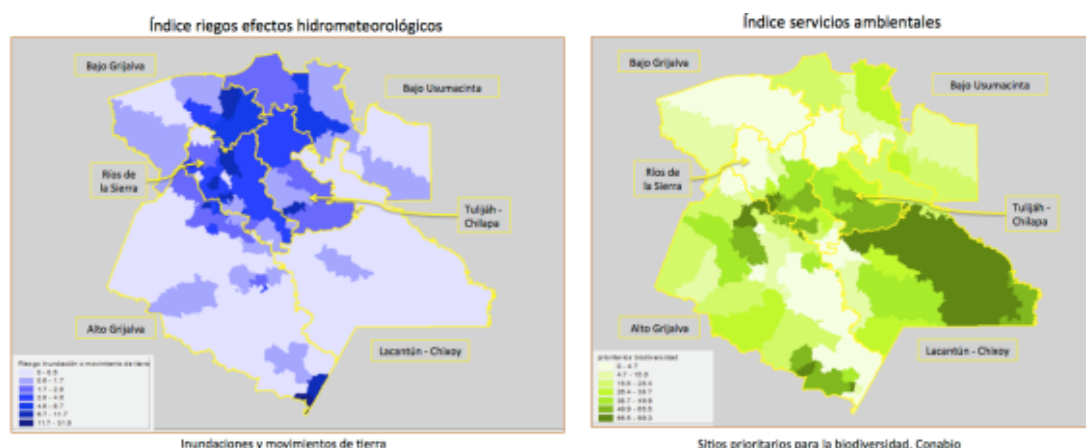
Cuadro 8.6 Municipios con mayor vulnerabilidad en Índice de Degradación de Suelos.

Agrupamiento	Municipio	Índice degradación de suelos
Alto Grijalva	San Lucas	51.1
Alto Grijalva	Nicolás Ruíz	50.5
Alto Grijalva	Chiapilla	49.5
Lacandona - Comitán	Huixtán	47.7
Ríos de la Sierra	Sitalá	43.6
Alto Grijalva	Villaflores	43.5
Alto Grijalva	Suchiapa	43.4
Alto Grijalva	Amatenango del Valle	42.9
Lacandona - Comitán	Oxchuc	42.2
Lacandona - Comitán	Comitán de Domínguez	41.9
Alto Grijalva	El Porvenir	31.9

vulnerabilidad a los riesgos hidrometeorológicos; pero si se considera exclusivamente el indicador de servicios ambientales, la zona de la Selva Lacandona, en la región del Lacandón-Chijoy, y los Altos de Chiapas, tienen mayor vulnerabilidad y, por tanto, deben ser consideradas como prioritarias (Cuadro 8.5).

Estos ejemplos evidencian la importancia de interpretar e inferir los índices obtenidos y no aplicarlos de manera mecánica; éstos son sólo una herramienta para la toma de decisiones que debe ser complementada con otros métodos que consideren el conocimiento de especialistas, para que los resultados sean analizados en su contexto socioecológico local y, de esa forma, obtener un análisis robusto de la vulnerabilidad y las opciones adecuadas de adaptación para cada región en la cuenca.

Mapa 8.4. Variables del Índice Ambiental.



8.3.3 Resultados del Índice Socioeconómico Grijalva-Usumacinta

El Mapa 8.2 muestra que en la cuenca de los Ríos de la Sierra se concentra la mayor vulnerabilidad socioeconómica, principalmente en los municipios de Amatán, San Andrés Duraznal, Chapultenango, Ixhuatán y Huitiupán, por mencionar algunos; y se desborda geográficamente hacia el Alto Grijalva en los municipios de Santiago el Pinar, Ocoatepec, Pantepec y Francisco León (Mapa 8.5). El Cuadro 8.7 presenta los valores del índice para los principales municipios con mayor vulnerabilidad socioeconómica.

Lo anterior coincide con los resultados presentados en el Capítulo 7 sobre los impactos del cambio climático que muestran que las regiones Ríos de la Sierra y Alto y Bajo Grijalva son las más vulnerables debido a la caída en la producción del maíz y del café, así como por la reducción de la actividad ganadera. A lo anterior se suma el alto riesgo que presenta la infraestructura para el manejo del agua y de residuos en estas áreas.

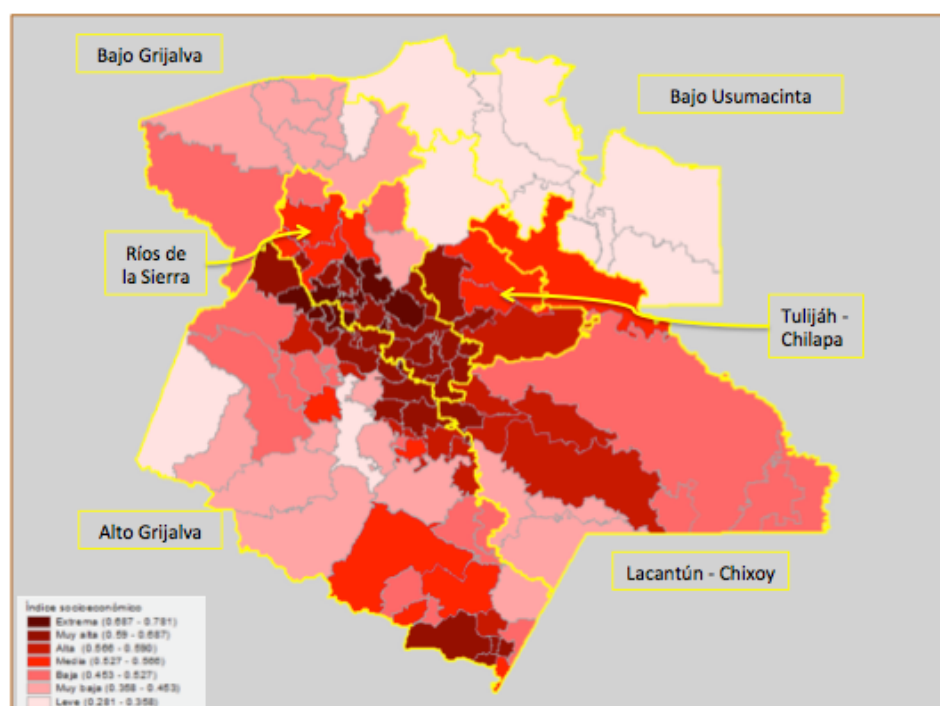
Asimismo, en dicho capítulo se expone que en todos los escenarios de cambio climático AR5, la región norte de la cuenca Grijalva-Usumacinta sufrirá una reducción considerable en sus rendimientos de maíz, que será la más alta de toda la zona. La misma situación será para los municipios ubicados en la zona central de la costa y en la región este del Bajo Grijalva. Asimismo, la región de la Selva en la zona del Tulijáh-Chilapa y Lacantún-Chixoy sufrirán reducción en el rendimiento del café y maíz.

Al desagregar el Índice Socioeconómico en sus distintos indicadores, en general, las zonas de mayor vulnerabilidad coinciden con éste. Los sitios con marginación muy alta son: la zona centro, los altos, la selva y la sierra en Chiapas, ubicados en las regiones Ríos de la Sierra, Tulijáh-Chilapa y el Alto Grijalva, de acuerdo con el índice de marginación del Consejo Nacional de Población (CONAPO). Asimismo, estas tres regiones reporta mayor presencia indígena (Mapa 8.5). Dicha población se encuentra en general dispersa en localidades rurales muy pequeñas, aisladas y de difícil acceso, lo cual aumenta su vulnerabilidad a diferentes fenómenos meteorológicos. Además, esta población se encuentra expuesta a otra serie de riesgos no climáticos, como las crisis económicas, que se reflejan en el aumento de los precios de los alimentos básicos, las cuales pueden exacerbarse o restringir el acceso a estos bienes cuando la producción local se ve afectada por un evento climático extremo (O'Brien y Leichenko, 2000). Las capacidades de adaptación de la población indígena son reducidas debido a la discriminación y exclusión social a las que está sujeta, tanto en el acceso a los servicios como dentro del mercado laboral. Si se analiza el índice de Gini para medir la desigualdad económica en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, se tiene un valor de 0.68, considerado como un valor de alta desigualdad; éste alcanza valores por encima del 0.70 en la región del Lacantún-Chixoy y en la región de Tulijáh-Chilapa (Anexo Capítulo 8). Además, estos grupos son altamente sensibles debido a que sus estrategias de vida dependen de los recursos naturales, cada vez más estresados por el cambio climático y por la degradación ambiental.

En el caso del Índice de Densidad Poblacional existen algunas diferencias en la vulnerabilidad que presentan los municipios respecto al Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica. En particular, la región de la cuenca del Bajo Grijalva presenta vulnerabilidad muy alta, principalmente en los municipios del Centro, Comalcalco, Jalpa de Méndez, Nacajuca y Paraíso. El Alto Grijalva tiene los valores más altos, principalmente en los municipios de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas (Cuadro 8.8).

La alta marginación, exclusión y pobreza que presenta la zona, aunada a la disminución en los rendimientos de la producción de maíz que se identificó en el Capítulo 7, establecen nuevos retos para garantizar la seguridad alimentaria ante las amenazas del cambio climático. Sin embargo, el 70% de los municipios identificados en este estudio como de muy alta marginación son parte de la “Cruzada contra el Hambre”, impulsada por el Gobierno Federal (Anexo Capítulo 8). Estos esfuerzos gubernamentales podrían

Mapa 8.5. Índice Socioeconómico.



Cuadro 8.7. Municipios con mayor vulnerabilidad socioeconómica.

Agrupamiento	Municipio	Índice Socioeconómico Regional
Alto Grijalva	Santiago Pinar	0.781
Alto Grijalva	Ocotepec	0.776
Ríos de la Sierra	Amatán	0.767
Alto Grijalva	Pantepec	0.765
Alto Grijalva	Francisco León	0.759
Ríos de la Sierra	San Andrés Duraznal	0.735
Ríos de la Sierra	Chapultenango	0.721
Ríos de la Sierra	Ixhuatán	0.711
Alto Grijalva	Tapalapa	0.708
Ríos de la Sierra	Rayón	0.708
Ríos de la Sierra	Huitiupán	0.705
Ríos de la Sierra	Ixtapangajoya	0.687
Alto Grijalva	Ostucán	0.685
Ríos de la Sierra	Sunuapa	0.679
Ríos de la Sierra	Pueblo Nuevo Solistahuacán	0.665

contribuir a reducir la inseguridad alimentaria de la población en la cuenca del Grijalva-Usumacinta; sin embargo, su implementación no basta para generar capacidad de adaptación. Para esto, se deben generar sinergias para reducir las distintas causas que contribuyen a la vulnerabilidad social, tales como la exclusión social, la desigualdad, la discriminación y la falta de acceso a servicios básicos y al mercado laboral. El cambio climático es un fenómeno específico y complejo que requiere de intervenciones interdisciplinarias y a diferentes escalas de implementación (Ostrom, 2009).

Cuadro 8.8. Municipios más vulnerables por densidad poblacional.

Agrupación	Municipio	Índice de Densidad Poblacional
Alto Grijalva	Tuxtla Gutiérrez	2
Alto Grijalva	San Cristóbal de las Casas	0.575
Bajo Grijalva	Centro	0.458
Ríos de la Sierra	Tapilula	0.353
Ríos de la Sierra	Mitontic	0.342
Bajo Grijalva	Comalcalco	0.309
Alto Grijalva	Chamula	0.278
Bajo Grijalva	Jalpa de Méndez	0.278
Bajo Grijalva	Nacajuca	0.265
Bajo Grijalva	Paraíso	0.262

8.3.4 Capacidades Institucionales

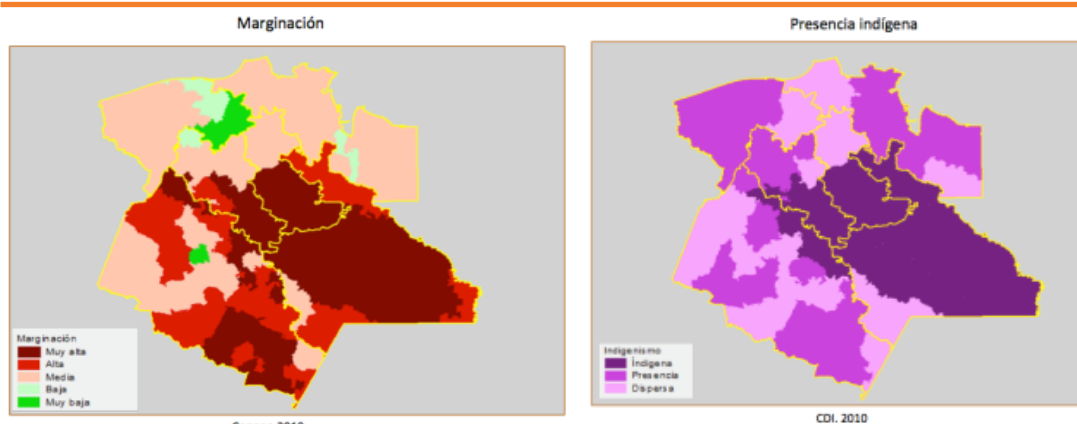
El estudio identificó barreras para evaluar cualitativamente la capacidad institucional de los municipios para la adaptación planeada. El primer paso es distinguir el uso de la categoría capacidades institucionales de la matriz de indicadores de vulnerabilidad; esto es, si el índice es para considerar al municipio como zona de atención prioritaria o si es para conocer su estado de vulnerabilidad. Si es para el primer caso, la capacidad institucional no debe incluirse como criterio de selección debido a que el indicador no es direccional, es decir, que un municipio tenga mejores condiciones institucionales puede suponer que no es prioritario por tener las capacidades para enfrentar los retos de la adaptación, o bien, puede ser considerado como elemento de priorización porque facilita la puesta en marcha de medidas de adaptación. Para establecer zonas de atención prioritarias deben considerarse criterios socioambientales. En cambio, si se quiere comparar el estado de vulnerabilidad de los municipios para fines descriptivos, de caracterización y de diagnóstico de evaluación general, se debe incluir la componente de capacidades institucionales de la matriz de vulnerabilidad.

Además de lo anterior, y como resultado del taller y la reflexión posterior, se revisaron los indicadores de la categoría debido a que los actuales cuentan con algunas limitaciones ya mencionadas. Se debe trabajar en la obtención y en el procesamiento de datos necesarios para hacer el análisis sobre capacidades institucionales.

Sin embargo, debido a que la adaptación al cambio climático requiere de intervenciones diseñadas para las necesidades específicas de cada sistema socioecológico, las instituciones locales deben partir de esta idea para cada zona de la cuenca. Arreglos institucionales que tengan como intención imponer un modelo de adaptación de “arriba-abajo” sin considerar las distintas necesidades y capacidades locales, podrían tener un efecto adverso y, en el largo plazo, incrementar la vulnerabilidad. De esta forma, es de gran prioridad la implementación de políticas que apoyen la adaptación para una mejor respuesta a los riesgos climáticos, a la vez que las localidades puedan generar resiliencia en el largo plazo. Los Planes de Acción Climática Municipal (PACMUN), que establece la Ley General de Cambio Climático, brindan una oportunidad para que las capacidades institucionales locales incrementen la sinergia con otros órdenes como el propio PAOM.

Dichas acciones deben fomentar las estrategias autónomas exitosas desarrolladas por las poblaciones basadas en el conocimiento tradicional e indígena. Existe evidencia de que los sistemas de subsistencia que han sido expuestos a estrés climático tienden a incrementar su resiliencia a través del tiempo (Eakin, 2005). Dicho conocimiento debe ser incorporado en la adaptación planeada, tomando en cuenta que la organización comunitaria y el tejido social es fundamental para la gobernanza de la adaptación al cambio climático. Esquemas participativos con las comunidades pueden ayudar a identificar estrategias efectivas autónomas locales, a la vez que el PAOM genera legitimidad y sensibilidad necesaria para que sea implementado exitosamente en la zona.

Mapa 8.6. Variables del Índice Socioeconómico.



Fuente: CONAPO, 2010; CDI, 2010.

8.4 Conclusiones

El capítulo ofreció la identificación de distintas variables para interpretar la vulnerabilidad a nivel municipal. Es importante señalar que la vulnerabilidad es un proceso con una expresión local y dinámica, tanto en el tiempo como en el espacio.

Existen muchos municipios en el área de la cuenca Grijalva-Usumacinta que se consideran desde una perspectiva nacional, con la más alta vulnerabilidad y riesgo de ocurrencia de impactos climáticos, como sequías agrícolas y pecuarias, disminución de rendimientos en la agricultura por altas temperaturas, transmisión de enfermedades, ondas de calor, inundaciones y deslaves (INECC-GGI, 2013; Gobierno de México, 2013a).

Asimismo, se presentan variables ambientales y socioeconómicas, ponderadas en orden de importancia por actores regionales, que ofrecen información relevante en la interpretación de la vulnerabilidad y su expresión a nivel municipal.

Los mapas e indicadores presentados ayudan a relacionar situaciones de vulnerabilidad con posibles opciones de intervención. No es posible capturar las múltiples situaciones de vulnerabilidad que se pueden presentar frente al cambio climático en un solo mapa o índice; sin embargo, son una herramienta importante para el apoyo en la toma de decisiones. El estudio para el diseño del PAOM busca identificar una lista de opciones de intervención a nivel territorial en la cuenca, identificando los municipios críticos por atender. El próximo capítulo expone las áreas identificadas como prioritarias.



9

**Propuesta
de áreas de
atención
prioritaria**

9. PROPUESTA DE ÁREAS DE ATENCIÓN PRIORITARIA

Responder a las necesidades en materia de adaptación al cambio climático en la cuenca Grijalva-Usumacinta, requiere de la definición de áreas geográficas prioritarias. La delimitación de estas áreas se debe a factores que incluyen: el gran tamaño de la cuenca, la escasez de recursos para financiar intervenciones en toda la región y los riesgos que cada zona enfrenta en función de su exposición y vulnerabilidad a fenómenos climáticos extremos.

Los capítulos anteriores proporcionaron información sobre la cuenca; de ellos se desprende que existan riesgos y retos importantes en toda la región. Por ello, este capítulo no implica de ninguna manera que las áreas excluidas carezcan de importancia. Lo deseable sería que, en la medida que se pueda fortalecer la resiliencia en las áreas seleccionadas en este primer ejercicio de priorización, las experiencias exitosas pudiesen ser replicadas en otras partes de la cuenca para lograr, eventualmente, el manejo integrado y la adaptación al cambio climático.

Este capítulo propone las áreas prioritarias a atender en torno a los retos asociados a la adaptación al cambio climático en la región Grijalva-Usumacinta. También se describe la metodología utilizada para la identificación de dichas áreas y los principales hechos que sustentaron su inclusión en el ejercicio de priorización.

9.1 Proceso para la selección de áreas prioritarias

La selección de áreas prioritarias implicó una serie de desafíos. Uno de ellos requirió considerar la distribución de personas y sistemas de cada región, a fin de evaluar las tendencias actuales que impiden un desarrollo sustentable y que implican mayores riesgos actuales y futuros ante eventos climáticos extremos. Al mismo tiempo, la priorización requirió conocer la interrelación y dinámica entre diferentes regiones, a fin de mantener el enfoque territorial y la visión de cuenca en este estudio.

La definición de las áreas prioritarias se hizo considerándolas como unidades de gestión y, en todos los casos, integran varios municipios. Con ello, se reconoce el importante papel de los gobiernos municipales en la adaptación al cambio climático, así como la relevancia de las jurisdicciones de la administración pública para asegurar la viabilidad de intervenciones a los retos planteados. Al mismo tiempo, en el estudio se procuró que las áreas fueran suficientemente grandes para lograr impactos claros a nivel de cuenca y, al mismo tiempo, que tuvieran un tamaño adecuado para reducir la dispersión de recursos y contener los costos de transacción requeridos para instrumentar intervenciones a desarrollarse en las siguientes etapas del proyecto.

Tomando en cuenta lo anterior, así como los lineamientos de política en materia de crecimiento verde y cambio climático, descritos en la introducción de este documento, se definieron los siguientes criterios para la identificación de áreas prioritarias, en relación al cambio climático:

- 1) Atención a población más vulnerable.
- 2) Infraestructura estratégica con alta exposición ante riesgos climáticos.
- 3) Ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia.
- 4) Existencia de actividades económicas altamente vulnerables.
- 5) Factibilidad política y social que permita la implementación de medidas y su sostenibilidad en el tiempo.

9.2 Propuesta de áreas prioritarias

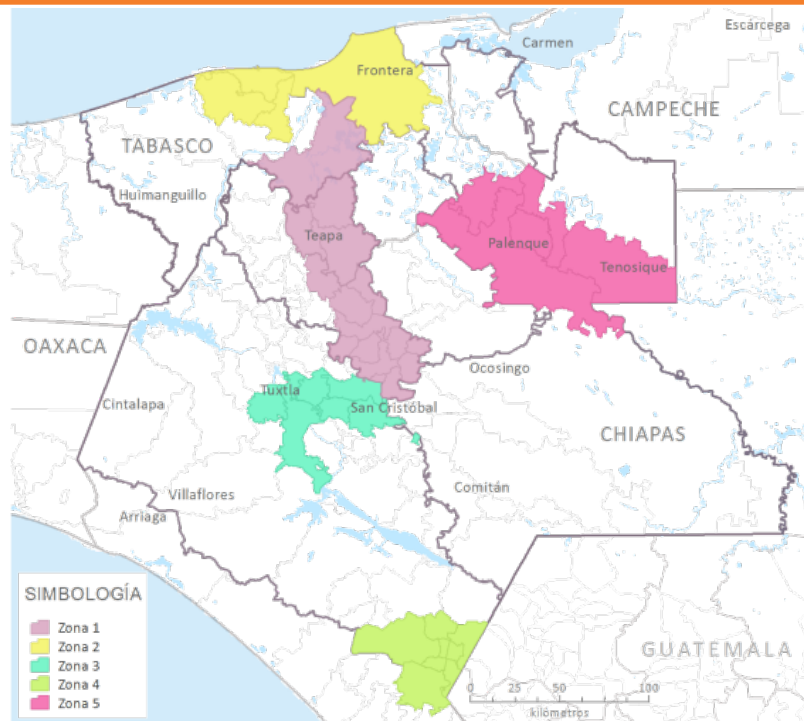
Con base en lo descrito en la sección anterior se definieron las cinco áreas prioritarias que se muestran en el Mapa 9.1. Más adelante se presenta una descripción breve de la problemática de cada una y se sustenta su selección en el contexto del Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM).

En conjunto, estas cinco áreas agrupan a una población de 2.9 millones de personas en una superficie de más de 2.1 millones de ha, lo que implica casi el 50% de la población de la región, ubicada en una porción de alrededor del 25% de la superficie territorial del ámbito de este estudio. A continuación se presentan cada una de las áreas prioritarias seleccionadas.

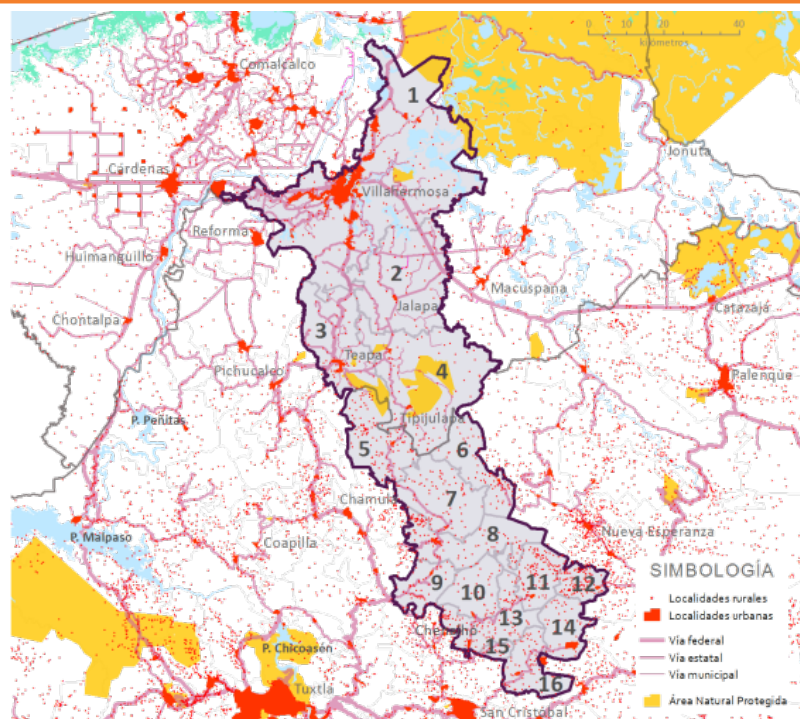
Área de atención prioritaria 1

Esta área es la zona prioritaria con mayor superficie (557,558 ha) y población (1,067,898 personas) (Mapa 9.2). Su selección se debe, principalmente, por el riesgo a inundaciones y sus consecuentes impactos sociales y económicos. El total de población, relativamente alto, se explica en gran medida por la ubicación de Villahermosa y su zona conurbada, aunque también destacan las múltiples localidades rurales del área. La inclusión de los municipios localizados hacia el sur de Villahermosa responde a la necesidad de incorporar las áreas de Ríos de la Sierra, lugar de donde proviene el agua causante de las principales inundaciones en la zona. El Cuadro 9.1 resume la vinculación de esta área con los cinco criterios de priorización.

Mapa 9.1. Propuesta de áreas de atención prioritaria.



Mapa 9.2. Mapa base del área prioritaria 1.



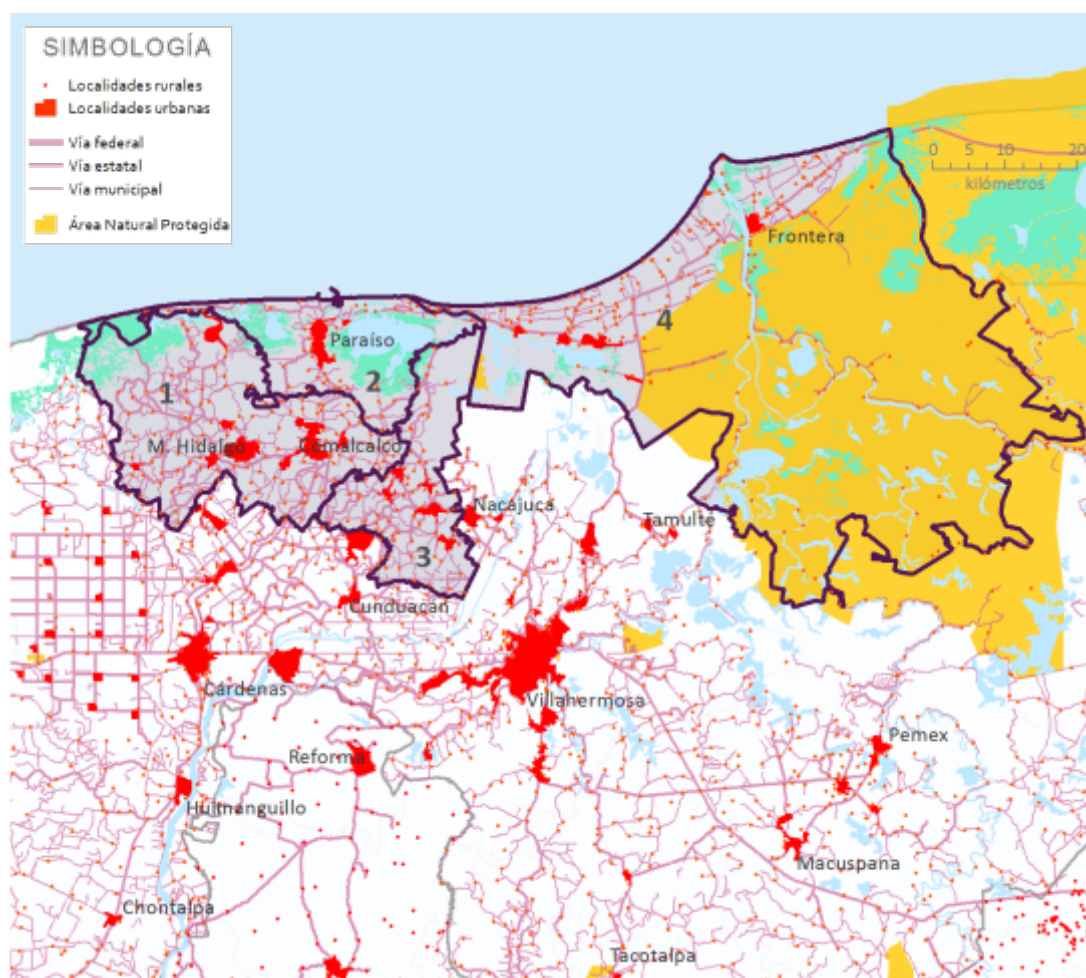
Cuadro 9.1. Criterios de selección para el área prioritaria 1.

Criterio	Elementos en el área
Población más vulnerable ante el cambio climático	Población de Villahermosa y zona metropolitana afectada recurrentemente por inundaciones.
Infraestructura estratégica con alta exposición ante riesgos climáticos	Red de carreteras que une la Península de Yucatán con el resto del país; infraestructura de Petróleos Mexicanos (PEMEX), principalmente poliductos y gaseoductos en torno a Villahermosa.
Ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante el cambio climático	Parque Estatal de la Sierra, comprende principalmente ecosistema de selva alta perennifolia.
Existencia de actividades económicas altamente vulnerables a los riesgos climáticos	Las inundaciones tienen un impacto negativo, principalmente sobre las actividades agropecuarias, seguidas del comercio y los servicios. Además, los escenarios de cambio climático indican que las variaciones en el régimen climático afectarían significativamente al sector agropecuario, tanto por los cambios en temperatura y precipitación esperados, como por el posible aumento en la intensidad de eventos extremos (huracanes, lluvias torrenciales, sequías).
Factibilidad política y social	Las inundaciones de 2007 y 2010 han generado un alto consenso sobre la vulnerabilidad de Villahermosa a nivel nacional, así como la necesidad de realizar intervenciones para reducir riesgos y costos.

Área de atención prioritaria 2

Está integrada únicamente por cuatro municipios, pero tiene una superficie de 423,599 ha y una población de 464,888 personas. En esta área se ubican importantes centros de población, así como infraestructura de PEMEX, expuestos a fenómenos como la erosión costera y el aumento del nivel del mar, así como al posible incremento en la intensidad de los huracanes. El Mapa 9.3 y el Cuadro 9.2 ilustran las características y razones para la identificación de esta área como prioritaria. Asimismo, el Mapa 9.4 muestra la gran infraestructura en la zona, ubicada principalmente en el área prioritaria 2, aunque con importantes ductos en el área 1.

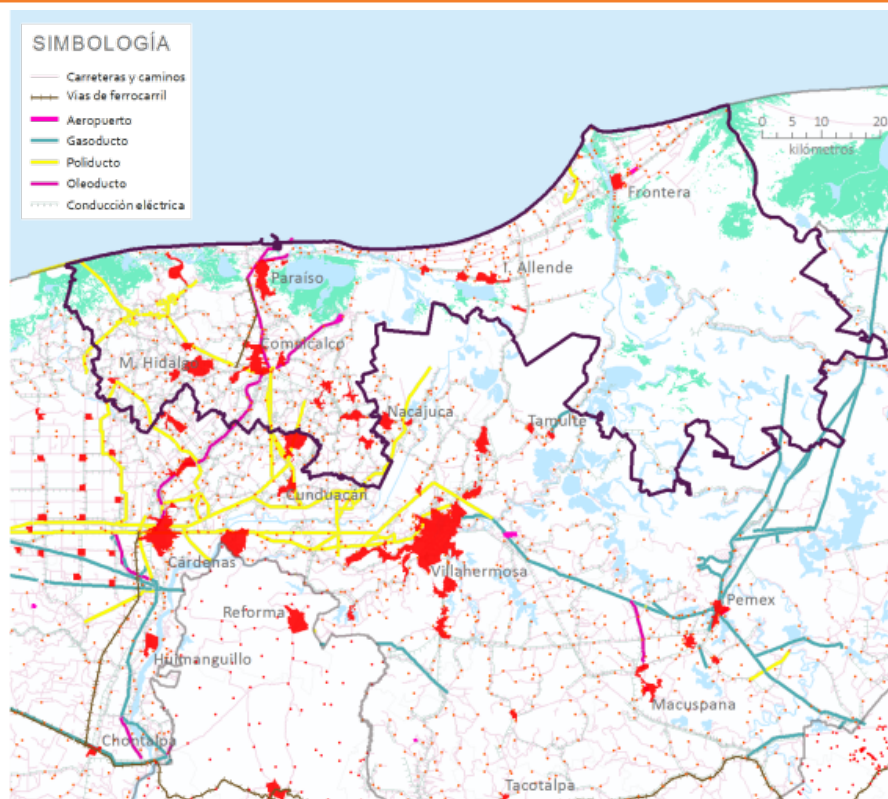
Mapa 9.3. Mapa base del área prioritaria 2.



Cuadro 9.2. Criterios de selección para el área prioritaria 2.

Criterio	Elementos en el área
Población más vulnerable ante el cambio climático	Poblaciones medianas y pequeñas de pescadores en la costa (alrededor de 1,500 pescadores de pequeñas embarcaciones).
Infraestructura estratégica con alta exposición a riesgos climáticos	Campos petroleros e infraestructura, destacando el Puerto de Dos Bocas, que concentra los servicios para la actividad petrolera de la zona marina sureste y el litoral de Tabasco, así como las instalaciones de almacenamiento de Torno Largo.
Ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante el cambio climático	Alrededor de la mitad del área consiste en zona de mangle, que provee importantes servicios ecosistémicos, como la regulación del ciclo hidrológico y protección natural ante huracanes y el aumento del nivel del mar.
Existencia de actividades económicas altamente vulnerables a riesgos climáticos	Destacan las actividades pesquera y petrolera.
Factibilidad política y social	Existe reconocimiento nacional e internacional de la vulnerabilidad física de la zona ante la erosión, el aumento del nivel del mar y la ocurrencia de huracanes, así como de la exposición de la infraestructura.

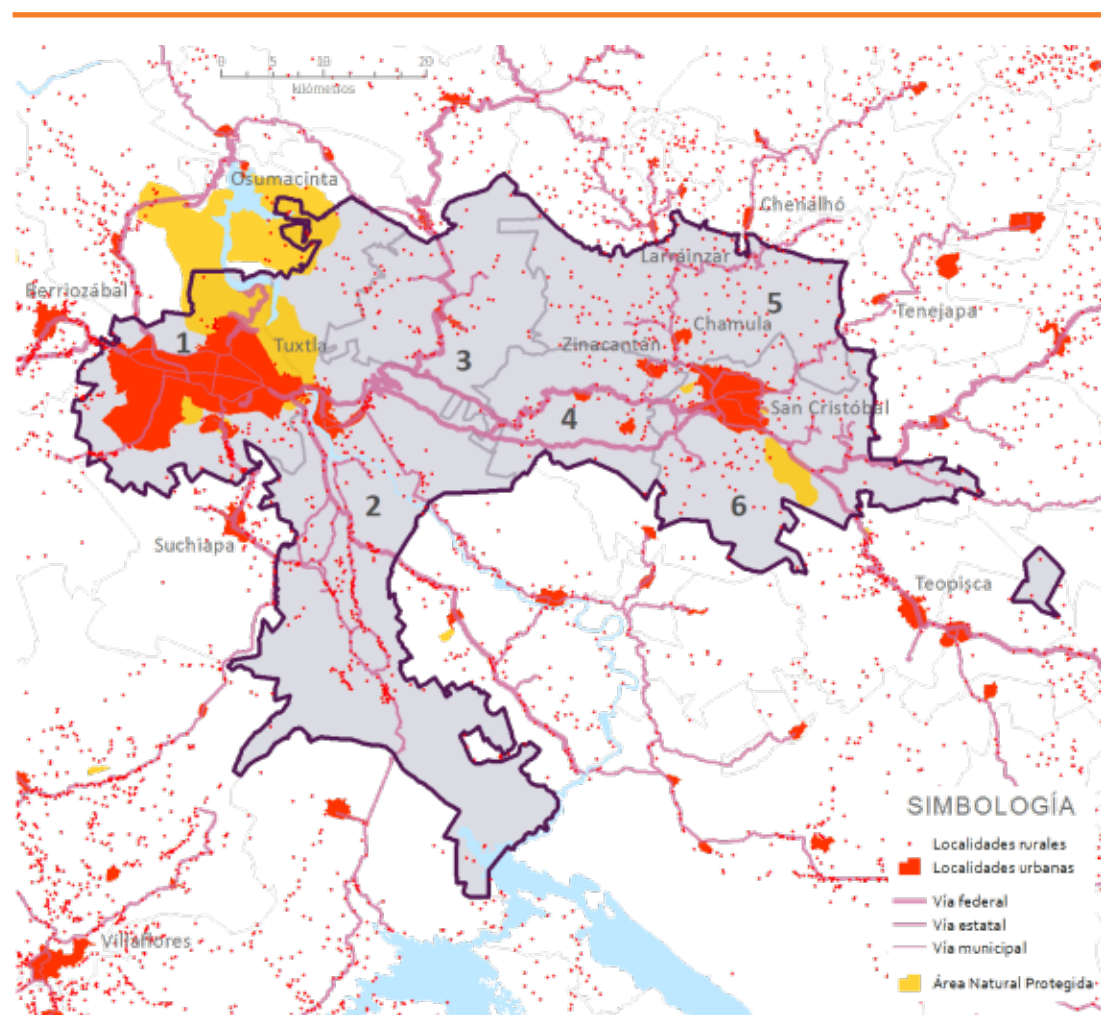
Mapa 9.4. Líneas de infraestructura prioritaria en el área prioritaria 2.



Área de atención prioritaria 3

Incluye seis municipios y se trata del área prioritaria con mayor densidad poblacional (964,841 personas en un área de 237,612 ha). Aquí se localizan Tuxtla Gutiérrez (y su área conurbada) y San Cristóbal de las Casas, los dos núcleos poblacionales urbanos más importantes de Chiapas, dentro de la región Grijalva-Usumacinta. El área está expuesta a deslaves, sequías y lluvias extremas. El Mapa 9.5 muestra las principales localidades, infraestructura carretera y características geográficas de esta área, y el Cuadro 9.3 describe su relación con los cinco criterios de priorización. El Mapa 9.6 muestra las zonas de derrumbes y fallas geológicas.

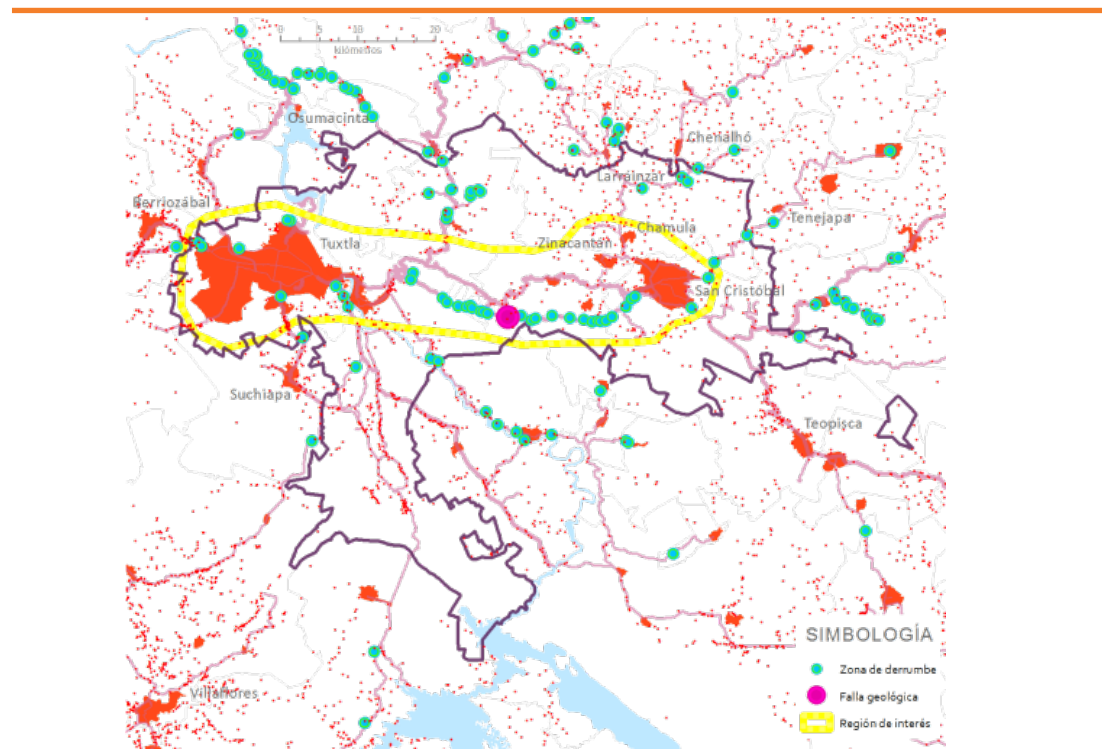
Mapa 9.5. Mapa base del área prioritaria 3.



Cuadro 9.3. Criterios de selección para el área prioritaria 3.

Criterio	Elementos en el área
Población más vulnerable ante el cambio climático	Población urbana y rural expuesta a riesgos como lluvias torrenciales, deslaves y sequías. Incluye parte de la región de Los Altos de Chiapas, donde existe población mayoritariamente indígena y en condiciones de marginación.
Infraestructura estratégica con alta exposición a riesgos climáticos	Infraestructura carretera que conecta los dos centros urbanos entre sí y con el resto del estado.
Ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante el cambio climático	Áreas naturales protegidas cercanas a las urbes/ciudades, así como zonas que conservan una importante cobertura de bosques.
Existencia de actividades económicas altamente vulnerables a los riesgos climáticos	Actividades urbanas y principalmente las realizadas en áreas rurales, donde los efectos del cambio climático podrían poner en riesgo la seguridad alimentaria de población basada en cultivos de autoconsumo.
Factibilidad política y social	La región conjuga la sede de los poderes políticos del estado, así como la existencia de un gran número de organizaciones de la sociedad civil que juegan un papel muy activo en atención a los problemas ambientales y de desarrollo sustentable.

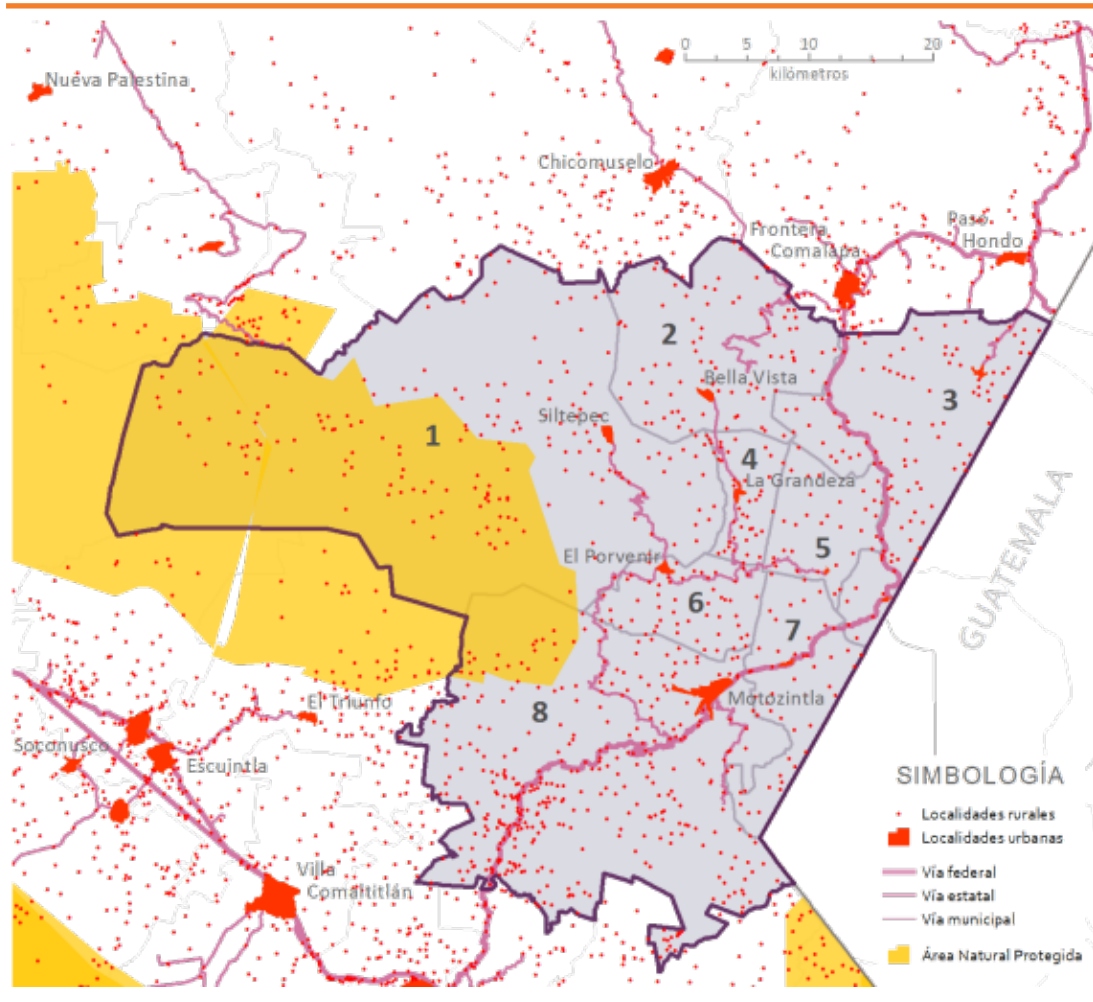
Mapa 9.6. Infraestructura carretera y derrumbes en el área prioritaria 3.



Área de atención prioritaria 4

Conjunta ocho municipios. Aunque reúne una población menor que el resto de las áreas prioritarias (191,979 personas en 224,648 ha), tiene una gran importancia debido a que incluye la parte alta de la cuenca del Alto Grijalva, fundamental para el sistema de hidroeléctricas existentes en la región. La zona está expuesta a fenómenos climáticos extremos, como sucedió en el año 2005 con el impacto del huracán Stan. Destaca como un área de alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, esta última asociada a tendencias de deforestación en las orillas de las áreas naturales protegidas. El Mapa 9.7 muestra las principales características geográficas, la infraestructura carretera y los derrumbes en el área y el Cuadro 9.4 resume su relación con los criterios de priorización. El Mapa 9.8 ilustra los riesgos de deforestación.

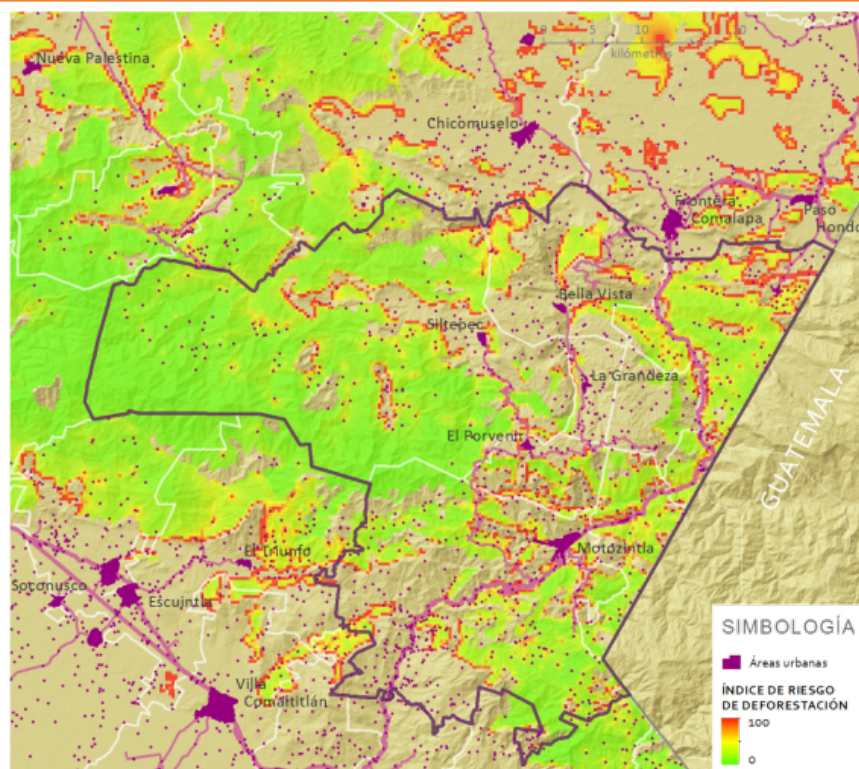
Mapa 9.7. Infraestructura carretera y derrumbes en el área prioritaria 4.



Cuadro 9.4. Criterios de selección para el área prioritaria 4.

Criterio	Elementos en el área
Población más vulnerable ante el cambio climático	Incluye una gran cantidad de poblaciones rurales con altos índices de vulnerabilidad debido a factores como la marginación y etnicidad.
Infraestructura estratégica con alta exposición a riesgos climáticos	Contiene una parte importante de las vías carreteras en el área fronteriza con Guatemala, las cuales tienen un papel fundamental para la conectividad entre localidades al este del estado.
Ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante el cambio climático	Incluye una porción de la Reserva de la Biosfera del Triunfo, el más grande remanente de bosque de niebla en México. La reserva presta servicios ecosistémicos valiosos, incluyendo la regulación y captación de agua para el Grijalva.
Existencia de actividades económicas altamente vulnerables a los riesgos climáticos	Las principales actividades productivas de la zona incluyen café orgánico, así como las agropecuarias de subsistencia.
Factibilidad política y social	Existe un importante grupo de organizaciones gubernamentales y de la sociedad civil trabajando en torno a las áreas de alta biodiversidad en la región.

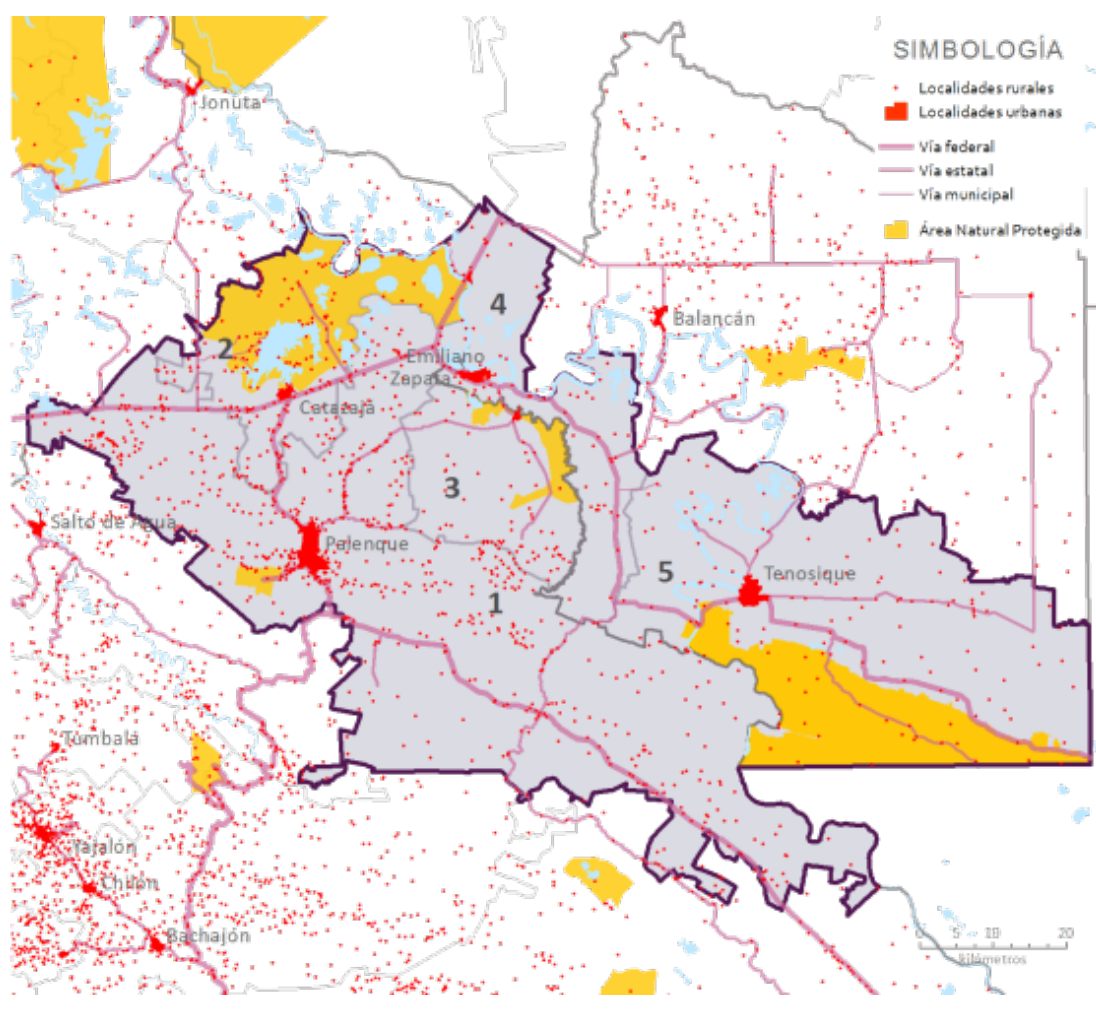
Mapa 9.8. Riesgo de deforestación en el área prioritaria 4.



Área de atención prioritaria 5

Compuesta por cinco municipios, esta región prioritaria tiene la segunda extensión más grande (644,721 ha), la mayor parte ubicada en los municipios de Palenque y Tenosique. La población en esta región es de 221,510 personas. Incluye una parte importante del Río Usumacinta y un área de alto valor por su biodiversidad. El Mapa 9.9 muestra la imagen base de la zona, el Cuadro 9.5 su relación con los criterios de priorización y el Mapa 9.10 muestra el uso del suelo en la región.

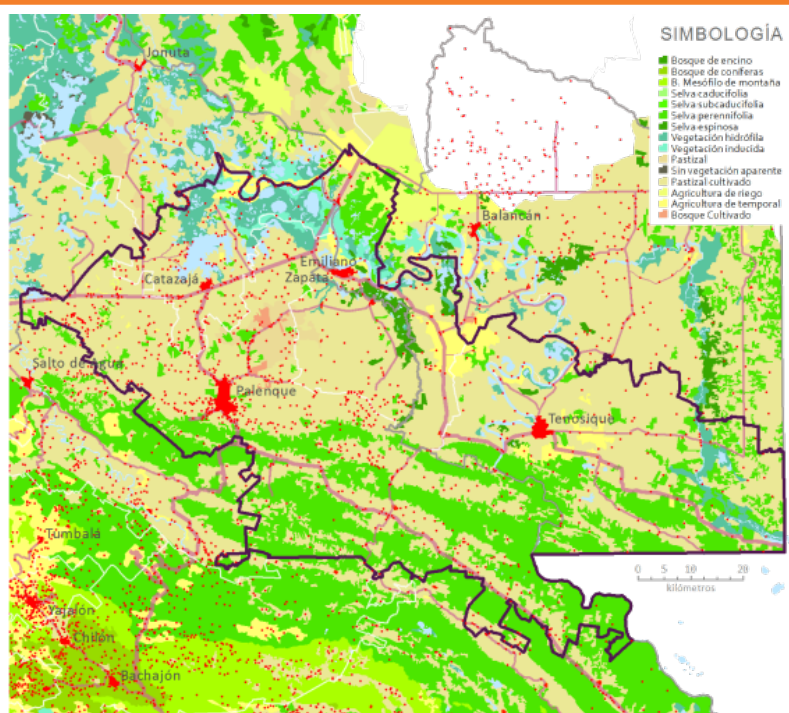
Mapa 9.9. Mapa base del área prioritaria 5.



Cuadro 9.5. Criterios de selección para el área prioritaria 5.

Criterio	Elementos en el área
Población más vulnerable ante el cambio climático	Poblaciones de importancia regional, incluyendo Palenque, Tenosique y Emiliano Zapata.
Infraestructura estratégica con alta exposición a riesgos climáticos	Infraestructura carretera con importante función de conectividad en esa región del país.
Ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante el cambio climático	Incluye una porción importante del Bajo Usumacinta, así como el área natural protegida estatal “Cañón del Usumacinta”, la cual tiene un importante papel de conexión con la reserva del Petén en Guatemala. Estos ecosistemas enfrentan presiones, principalmente por el cambio de uso de suelo hacia actividades agropecuarias.
Existencia de actividades económicas altamente vulnerables a los riesgos climáticos	Actividades agropecuarias de subsistencia que podrían verse afectadas por los cambios en los patrones de temperatura y precipitación, y consecuentemente, poner en riesgo la seguridad alimentaria.
Factibilidad política y social	Existe la posibilidad de replicar esquemas de desarrollo territorial sustentable similares a los que se han detonado en la región de Marqués de Comillas, con la participación de las Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación (SAGARPA).

Mapa 9.10. Uso del suelo y vegetación en el área prioritaria 5.



9.3 Conclusiones

A lo largo de este documento se ha presentado un análisis de diversos factores relacionados con la vulnerabilidad al cambio climático desde una perspectiva de la región Grijalva-Usumacinta. Con base en esos elementos, se identificaron las áreas prioritarias en la zona, las cuales ameritan ser el foco de atención más urgente al contar con una alta exposición y vulnerabilidad a riesgos climáticos, que serán exacerbados por el cambio climático.

Como se pudo observar en este capítulo, cada una de las áreas prioritarias está en riesgo por factores diversos, lo que muestra la variedad de condiciones ambientales, sociales, económicas y geográficas existentes en la región que evidencian la necesidad de desarrollar estrategias diferenciadas para cada zona.



10

**Análisis y
propuestas
para la
estructura
institucional
del PAOM**

10. ANÁLISIS Y PROPUESTAS PARA LA ESTRUCTURA INSTITUCIONAL DEL PAOM

10.1 Introducción

Este capítulo presenta los principales hallazgos y las recomendaciones que surgen del análisis del marco institucional relevante para el Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM), desarrollado con el objetivo principal de darle viabilidad. La metodología para la elaboración de este capítulo consistió en:

- 1) La revisión de documentos legales y programáticos importantes para el PAOM.
- 2) Un taller participativo organizado el 17 de mayo de 2013 en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, cuya agenda incluyó la discusión de aspectos institucionales.
- 3) Entrevistas y consulta de casos sobre experiencias de programas que actualmente operan en México y que aportan lecciones importantes para la posible puesta en marcha del PAOM.

Este capítulo discute, en primer lugar, las orientaciones de la política nacional en materia de adaptación al cambio climático conocidas actualmente, tanto a nivel federal como estatal. Posteriormente, se resumen algunas actividades novedosas que se han instrumentado en México con un enfoque territorial y de cuencas, además de que implican una concurrencia entre sectores y niveles de gobierno, tanto en términos presupuestales como programáticos. El análisis también incluye la gestión de los recursos hídricos en México, con énfasis en las cuencas de los ríos Usumacinta y Grijalva. Al final se realiza una revisión de los procesos actuales relacionados a la asignación de recursos presupuestales para la gestión ambiental, particularmente a nivel estatal y municipal. Todos estos elementos son la base para la identificación de las principales barreras y oportunidades que guían al desarrollo de una colaboración formal a nivel regional.

10.2 Marco institucional vigente en materia de cambio climático

10.2.1 Marco federal

Esta sección resume las principales definiciones en materia de política nacional de cambio climático y describe cómo se han alineado con la elaboración y propuestas del PAOM. Para esto, se destaca la importancia de la Constitución Política, que en su artículo 115 establece atribuciones para los municipios (DOF, 8 de octubre de 2013). A nivel federal, los dos principales instrumentos con los que se cuenta a la fecha son la Ley General de Cambio Climático (LGCC), adoptada en junio de 2012, y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), publicada el 3 de junio de 2013. Dado que la mayoría de los instrumentos de política contemplados en la LGCC se encuentran

en desarrollo, el marco institucional presentado en este capítulo es un preámbulo que deberá complementarse conforme nuevos estatutos sean formalmente adoptados.

La LGCC constituye el principal instrumento de política en México concerniente al cambio climático y define las autoridades del Estado, las facultades de los tres órdenes de gobierno y los mecanismos institucionales que intervienen. Respecto a la LGCC, el Cuadro 10.1 señala la distribución de competencias y atribuciones, y el Cuadro 10.2 resume los instrumentos de política de cambio climático en los órdenes de gobierno federal y estatal, así como el estado de avance para la región.

La LGCC hace escasas referencias a las acciones regionales, como es el caso del PAOM; la única mención explícita es en el artículo 7, fracción XXI, el cual señala que la federación tiene la atribución de colaborar con las entidades federativas para establecer acciones regionales entre dos o más entidades. En ese sentido, el PAOM podría ser una innovación en materia de políticas públicas, al constituir la segunda experiencia a nivel nacional de colaboración interestatal para responder a los retos que el cambio climático demanda, antecedida sólo por la Comisión Regional de Cambio Climático de la Península de Yucatán, resumida posteriormente en este capítulo.

Cuadro 10.1. Distribución de competencias y atribuciones de acuerdo a la LGCC.

Orden de gobierno	Atribuciones
Federación (artículo 7)	Formular y conducir la política nacional de cambio climático. Desde el enfoque de planeación, incluye elaborar, coordinar, aplicar y evaluar instrumentos, entre los que destacan: la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC); el Programa Especial de Cambio Climático (PECC); el Atlas Nacional de Riesgos y los criterios para los Atlas de Riesgos Estatales; las acciones de mitigación y adaptación; además de la creación y regulación del fondo para el cambio climático.
Entidades federativas (artículos 8 y 12)	Formular, conducir y evaluar la política estatal de cambio climático en concordancia con la política nacional, así como las acciones de mitigación y adaptación de acuerdo con la ENCC y el PECC. Elaborar el programa estatal y el Atlas Estatal de Riesgo, así como la publicación y actualización de este último. Administrar y gestionar fondos estatales en la materia.
Municipios (artículo 9)	Formular, conducir y evaluar la política municipal de cambio climático, en concordancia con la política nacional y estatal, así como formular e instrumentar políticas y acciones para actuar ante el cambio climático. Atribuciones en materia de: prestación de servicio de agua potable y saneamiento, ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano, recursos naturales y protección al ambiente de su competencia, protección civil, manejo de residuos sólidos municipales y transporte público eficiente y sustentable en el ámbito de su jurisdicción.

Fuente: Ley General de Cambio Climático (DOF, 6 de junio de 2012).

Cuadro 10.2. Instrumentos de política de cambio climático a nivel federal y estatal.

	Nacional	Federal	Estatal	Comentarios
Marco Jurídico	Ley General de Cambio Climático (LGCC)		Leyes estatales en materia de cambio climático	Federal: LGCC publicada en junio de 2012. Estatal: Chiapas: Ley para la Adaptación y Mitigación del Cambio Climático (LAMCC) (2010). Nueva ley aprobada por el congreso en abril de 2013; publicación pendiente.* Tabasco: Ley de Protección Ambiental (LPA), que incluye temas de cambio climático. Aprobada por el legislativo estatal en diciembre de 2012; publicación pendiente.**
Planeación	Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC)	Programa Especial de Cambio Climático (PECC)	Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC)	Federal: ENCC publicada el 3 de junio de 2013; PECC en proceso de elaboración. Chiapas: PEACC (2009). Tabasco: PEACC (2011).
Arreglos institucionales	Sistema Nacional de Cambio Climático (SNCC)	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC)	Comisiones estatales Intersecretariales de Cambio Climático	Federal: SNCC, creado el 29 de enero de 2013, reglamento en elaboración; CICC, instalada el 31 de enero de 2013. Chiapas: La LAMCC establece la CICC Estado de Chiapas; instalación de la CICC aún pendiente. Tabasco: La LPA contempla la creación de la CICC y el Comité Interinstitucional de Cambio Climático; requieren ser instaladas con base en reformas a la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Tabasco, promulgada en diciembre de 2012.
	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)	Consejo de Cambio Climático		Estatuto Orgánico del INECC, pendiente de expedición.
Instrumentos	Registro Nacional de Emisiones	Normas Oficiales Mexicanas		Reglamento del Registro en elaboración.
	Inventario Nacional de Emisiones		Inventarios Estatales de Emisiones	Inventarios Estatales concluidos en Chiapas y Tabasco.***
	Atlas Nacional de Riesgos		Atlas estatales de riesgos	Federal: Atlas Nacional de Riesgos en funcionamiento.**** Chiapas: Atlas Estatal de Riesgos en actualización.
	Sistema de información			Sistema de información pendiente de integrarse por parte del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
Evaluación	Coord. de Evaluación del INECC	Coord. de Evaluación del INECC	Procedimientos de evaluación del PECC	Estatuto Orgánico del INECC, pendiente de expedición.
Financiamiento	Fondo de Cambio Climático	Fondo de Cambio Climático	Fondo de Cambio Climático y Fondos Estatales	Fideicomiso “Fondo para el Cambio Climático”, constituido a nivel federal el 20 de noviembre de 2012. Reglamento del Fondo en elaboración.

* <http://www.provincia.com.mx/2013/04/aprueba-chiapas-ley-para-adaptacion-ante-el-cambio-climatico/>

** http://tempo.congresotabasco.gob.mx/documentos/2013/LXI/OFICIALIA/nuevas_leyes/

Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco.pdf

*** Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2012. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

**** <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php>

Fuente: Adaptado de: Gobierno de la República, 2013. “Estrategia Nacional de Cambio Climático, Visión 10-20-40”.

Por su parte, la ENCC define tres ejes estratégicos en temas de adaptación, retomados en la elaboración del PAOM, los cuales son^{55, 56}:

La ENCC enfatiza la necesidad de realizar la evaluación de la vulnerabilidad y la implementación de medidas de adaptación a nivel local, respondiendo a condiciones particulares.

De manera adicional a los instrumentos de planeación definidos en la LGCC, existen diversos instrumentos jurídicos que son relevantes para el PAOM⁵⁷, tales como:

- La Ley de Aguas Nacionales (LAN), ya que en ella se regula a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con autonomía técnica, ejecutiva, administrativa, presupuestal y de gestión. Además, esta ley define la integración de los Consejos de Cuenca (artículo 3 inciso XV). Debido a la importancia del tema y a la necesaria intervención de la CONAGUA en las actividades del PAOM, la institucionalidad para la gestión del agua en la cuenca Grijalva-Usumacinta se discute más adelante con más detalle.
- La Ley General de Protección Civil (LGPC), publicada en junio de 2012, es muy importante, ya que los objetivos de la política nacional de adaptación al cambio climático corresponden a la definición de la gestión integral de riesgos, como se menciona en el artículo 2, fracción XXVII, al definirse como el conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación y reducción de riesgos, considerándolos por su origen multifactorial, e involucra a los tres niveles de gobierno y a los sectores de la sociedad⁵⁸.

⁵⁵ De acuerdo con la LGCC, la ENCC es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono (art. 60).

⁵⁶ Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40, p. 19. Disponible en: <http://www.encc.gob.mx/estrategia.html>, consultada el 3 de junio de 2013.

⁵⁷ Otras leyes que guardan relación con el PAOM son las siguientes: Ley de Planeación; Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; Ley Federal de Entidades Paraestatales; Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; Ley General de Protección Civil; Ley de Aguas Nacionales; Ley de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados; Ley de Ciencia y Tecnología; Ley de Desarrollo Rural Sustentable; Ley General de Asentamientos Humanos; Ley General de Bienes Nacionales; Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable; Ley General de Desarrollo Social; Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable; Ley General de Salud; Ley General de Población; Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

⁵⁸ El IPCC (2012) señala que podría haber diferencias entre los enfoques de gestión de riesgos y de adaptación al cambio climático, ya que el primero se centra en los riesgos actuales y el segundo tiene un horizonte temporal más largo.

Las actividades que se pueden llevar a cabo en el marco del PAOM para evitar/reducir la vulnerabilidad de la población pueden quedar enmarcadas dentro de esta gestión, que de acuerdo al artículo 10 de la LGPC, considera las siguientes fases anticipadas:

1. Conocimiento del origen y naturaleza de los riesgos.
2. Identificación de peligros y vulnerabilidades, así como sus escenarios.
3. Análisis y evaluación de los posibles efectos.
4. Revisión de controles para la mitigación del impacto.
5. Acciones y mecanismos para la prevención y mitigación de riesgos.
6. Desarrollo de una mayor comprensión y concientización de riesgos.
7. Fortalecimiento de la resiliencia de la sociedad.

Tanto la LGCC como la LGPC hacen referencia al Atlas de Riesgo, el cual consta de una base de datos y de un sistema de información geográfica que deberán ser actualizados permanentemente, por lo que el PAOM puede constituir una plataforma para elaborarlos y actualizarlos. La LGPC avanza contundentemente, como se evidencia en el artículo 84, al considerar un delito grave la construcción, edificación, realización de obras de infraestructura y los asentamientos humanos en una zona determinada sin elaborar análisis de riesgo, y no contar, entre otras cosas, con la autorización de la autoridad correspondiente.

Además de las leyes señaladas, el PAOM debe ser consistente con una serie de instrumentos programáticos del gobierno federal, como son:

- *Pacto por México*. Firmado por las principales fuerzas políticas del país (representantes de los partidos políticos) al inicio de la Administración Pública Federal 2013-2018. El Pacto contiene una serie de orientaciones y acciones prioritarias para responder a los retos de México, destacando los acuerdos con mayor relevancia para el PAOM, los cuales son: 1) replantear el manejo hídrico del país, que incluye el compromiso de concluir obras para el control de inundaciones en diversos estados del país; incrementar la cobertura del servicio del agua, drenaje y tratamiento; revisar y rehabilitar 115 presas con alto riesgo e inspeccionar 5,000 km de bordos, así como llevar a cabo las acciones correctivas pertinentes; y 2) aplicar una estrategia nacional para el desarrollo del sur-sureste, con énfasis en las cuencas Grijalva, Usumacinta, Balsas y Papaloapan. Este último punto se llevará a cabo mediante una coordinación entre el Ejecutivo Federal con los ejecutivos estatales del sur-sureste, además de dar el impulso necesario a las reformas en el Congreso de la Unión.
- *Plan Nacional de Desarrollo* (PND, 2013-2018). Es un instrumento de planeación fundamental, aunque no mencionado explícitamente en la LGCC. Una de sus

metas es “Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono”⁵⁹. Entre las líneas de acción principales de esta estrategia se encuentran: ampliar la cobertura de infraestructura y programas ambientales que protejan la salud pública y garanticen la conservación de los ecosistemas y recursos naturales, así como desarrollar las instituciones e instrumentos de política del Sistema Nacional de Cambio Climático⁶⁰.

El PND también menciona explícitamente la necesidad de llevar a cabo acciones para promover el desarrollo de la región sur-sureste de México. Como una línea de acción de la estrategia para “democratizar la productividad”, señala que el desarrollo de esta región debe ser a través de una política integral que fortalezca los fundamentos de su economía, aumente su productividad y vincule a la región efectivamente con el resto del país. En este contexto, la instrumentación de intervenciones para la adaptación al cambio climático deben estar armonizadas con los estímulos para el desarrollo regional, conforme al paradigma de crecimiento verde señalado en el marco conceptual de este estudio.

- *Plan Nacional de Infraestructura*. Detalla las inversiones que se llevarán a cabo durante la presente administración para mejorar la infraestructura del país y que podrían tener importantes implicaciones para la región Grijalva-Usumacinta. La existencia de mejores vías de comunicación permitiría mejorar la conectividad dentro de la región y hacia otras partes del país, lo que podría reducir la vulnerabilidad al facilitar el acceso a servicios de emergencia. Además, la infraestructura juega un papel fundamental al conectar a regiones relativamente atrasadas con regiones más dinámicas, permitiendo, de esa forma, un desarrollo regional más equilibrado. Sin embargo, el desarrollo mal planeado de infraestructura podría también exacerbar los riesgos climáticos al estar asociada con una pérdida de ecosistemas o promover desarrollos urbanos en zonas no aptas, por dar algunos ejemplos. Aún cuando el Programa de Inversiones en Infraestructura de Transporte y Comunicaciones 2013-2018 fue anunciado en el pasado mes de julio, no existe aún un documento que pueda ser consultado para entender sus implicaciones en el marco del PAOM.
- *Programa de Obras e Inversión del Sector Eléctrico 2012–2026*. Este programa es fundamental para la región, particularmente en términos de la energía hidroeléctrica, como se discutió en el Capítulo 4.

⁵⁹ Estrategia 4.4.1. <http://pnd.gob.mx/>

⁶⁰ *Ibid.*

- *Programas Sectoriales*. En el sexenio pasado, 13 programas incluyeron el tema de adaptación al cambio climático, sobresaliendo el Programa Nacional Hídrico y los Sectoriales de las diversas dependencias de la Administración Pública Federal (APF). Como ejemplo se encuentra el Programa Nacional de Salud (2007-2012) que reconocía que parte de los problemas de salud provienen de la falta de acceso a agua potable, de la contaminación atmosférica y de catástrofes ambientales. Los programas sectoriales, actualmente en elaboración, deberán proporcionar oportunidades en el marco del PAOM, ya que la misma LGCC los obliga a incorporar disposiciones relacionadas con la mitigación y adaptación al cambio climático consistentes con la ENCC.

Algunos de los programas relevantes para el PAOM se describen a continuación, de acuerdo los sectores a los que pertenecen.

Programas del Sector Ambiental

Además de la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad, publicada en el año 2000, y el Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas, se encuentran:

- *Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)*. Es el instrumento de política ambiental que tiene por objeto regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas para lograr la protección del medio ambiente, la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos. El POEGT identifica áreas prioritarias con base en el riesgo de que se generen conflictos ambientales o de la urgencia de preservar sus características. De manera simplificada se puede decir que, dentro del área del PAOM, el POEGT identifica como áreas con prioridad de atención muy alta a las regiones ubicadas desde el centro de Chiapas hacia el sur del estado. Prácticamente, el resto de las regiones del PAOM son consideradas de alta prioridad; esto implica integrar las políticas que define el POEGT para estas regiones en las intervenciones que se diseñarán más adelante para responder a las prioridades de la cuenca Grijalva-Usumacinta, reconociendo las diferentes escalas y propósitos de ambos instrumentos.
- *Programa Nacional Forestal (PRONAFOR)*. Destacan las acciones de reforestación, restauración integral de microcuencas y de suelos, así como de pago de servicios ambientales. En el Anexo 3 se encuentran publicadas las reglas de operación que permiten instrumentar actividades en el marco del PAOM.
- *Estrategia Nacional REED+ (ENAREDD+)*. Se busca reducir los incentivos a la deforestación y degradación. El documento se publicará en el 2013 por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). En el marco del PAOM se encuentra el Comité

Técnico de REDD+ para Chiapas, integrado por organizaciones de la sociedad civil, investigación y gobierno.

- *Estrategia de Cambio Climático para Áreas Protegidas (ECAAP)*. En el Anexo 4 se detalla la estrategia así como proyectos específicos que se instrumentan en la cuenca Grijalva-Usumacinta, los cuales son fundamentales para mantener el capital natural y la resiliencia de la región.
- *Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES)*. Su operación está a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y fomenta la corresponsabilidad dado que el subsidio se obtiene a través de compromisos entre la comunidad y la CONANP. Se prevén recursos, entre otros, para brigadas comunitarias que prevengan situaciones de riesgo derivadas de incendios forestales.
- *Programa Hidrico de Tabasco*. Ante las inundaciones que vivió este estado, la CONAGUA, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Gobierno de Tabasco elaboraron este plan con el objetivo de disminuir condiciones de riesgo y vulnerabilidad. En el Anexo 5 se presenta un resumen de su relevancia para el PAOM.
- *Programa Hidrico por Organismo de Cuenca. Región XI: Frontera Sur. Visión 2030 CONAGUA*. Contiene un diagnóstico asertivo sobre el agua y sus usos, que indudablemente serán de los más afectados por el cambio climático. Además, es uno de los pocos instrumentos de planeación en el país con una visión a largo plazo. En el Anexo 6 se presentan extractos del documento.

Programas de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)

- *Cruzada Nacional contra el Hambre o SINHAMBRE*. Es una estrategia de inclusión y bienestar social que busca vincular, simultáneamente, la atención a la pobreza y carencia alimentaria por medio de la mejora de los ingresos y la producción agropecuaria de los campesinos. Al inicio será implementado en 400 municipios, de los cuales 58 se encuentran en la cuenca Grijalva-Usumacinta⁶¹ (Mapa 4.5). El

⁶¹ En Tabasco: Cárdenas, Huimanguillo, Comalcalco, Centro, Centla, Macuspana y Cunduacán. En Chiapas: Ocosingo, Chilón, Las Margaritas, Tila, Chamula, Palenque, Tuxtla Gutiérrez, Simojovel, Ocozocoautla de Espinosa, San Cristóbal de las Casas, Tenejapa, Oxchuc, Villa Corzo, La Trinitaria, Venustiano Carranza, Zinacantán, Chenalhó, Villaflores, La Independencia, San Juan Cancuc, Altamirano, Tumbalá, Cintalapa, Comitán de Domínguez, Salto de Agua, Sabanilla, Frontera Comalapa, Yajalón, Pueblo Nuevo Solistahuacán, Teopisca, Tecpatán, Chicomuselo, Chiapa de Corzo, Pantelhó, Larráinzar, Huitiupán, La Concordia, Siltepec, Huixtán, Jitotol, El Bosque, Chalchihuitán, Mitontic, Sitalá, Chanal, Ocotepec, Maravilla Tenejapa, Amatenango del Valle, San Lucas, Aldama y Santiago el Pinar.

Ejecutivo Federal creó una Comisión Intersecretarial para la instrumentación de la cruzada, la cual abre la posibilidad de coordinar las acciones en el territorio, a fin de que los estímulos para aumentar la generación de alimentos no resulten en presiones adicionales sobre los ecosistemas. Además, SINHAMBRE se ha convertido ya en uno de los más representativos programas de la APF, por lo que los municipios participantes serán el punto focal de diversos apoyos gubernamentales. El Anexo 7 presenta puntos relevantes para articular esfuerzos en la región del decreto por el que se establece esta cruzada.

- *Programa de Empleo Temporal (PET)*. Atiende a personas afectadas por la baja oferta laboral o por fenómenos naturales; debido a esto, puede ser un instrumento importante para aumentar la capacidad de recuperación de las comunidades vulnerables ante un evento extremo. En el Anexo 8 se muestra lo más relevante para el PAOM.

Programas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)

- *Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO)*. Busca promover agronegocios competitivos en el espacio rural. En el Anexo 9 se muestra información más amplia sobre sus objetivos.

Programas de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)

- *Programa para la Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos*. Tienen cobertura en zonas de la región Grijalva-Usumacinta. Busca contribuir al fortalecimiento de las capacidades municipales en materia de prevención de riesgos, destacando los municipios con un índice de riesgo global alto y muy alto, derivando acciones para la elaboración de un Atlas de Riesgo.

Programas de la Secretaría de Gobernación (SEGOB)

- *Fondo de Desastres Naturales (FONDEN)* y *Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN)*. El primero es un instrumento financiero que apoya a las entidades federativas, así como a las dependencias y entidades de la APF, en la atención y recuperación de los efectos de los desastres naturales. El segundo fomenta la prevención de estos últimos y promueve el desarrollo de estudios orientados a la gestión integral del riesgo para la prevención de desastres naturales y mitigación de sus riesgos. Sin embargo, no existe una relación entre los instrumentos de apoyo para la reconstrucción y los de prevención en las entidades

federativas, lo que respecto a una política de adaptación planeada debería cambiar para que las entidades con alta demanda del FONDEN también utilicen los esquemas de prevención y mitigación de desastres.

- *Sistemas de Alerta Temprana.* México cuenta con el Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales (SIAT-CT), operado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), que juega un papel fundamental en la respuesta adecuada a eventos hidrometeorológicos extremos que afectan la región. El fortalecimiento del sistema y el involucramiento de las comunidades será fundamentales para reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Frente a la existencia de todos estos instrumentos, el reto principal es lograr sinergias para responder de manera eficiente y efectiva a los efectos del cambio climático. Basado en el documento del INECC (2012) “Adaptación al cambio climático en México: visión elementos y criterios para la toma de decisión”, el Cuadro 10.3 identifica instrumentos de la APF relevantes para el PAOM.

10.2.2 Marco estatal

El marco legal para enfrentar el cambio climático ha evolucionado rápidamente en los estados de Chiapas y Tabasco. En el caso de Chiapas, una ley en la materia fue publicada en 2010; sin embargo, una nueva versión fue aprobada por el congreso estatal en abril de 2013, la cual busca una mayor congruencia con la LGCC. Para Tabasco, el congreso aprobó en diciembre de 2012 una nueva Ley de Protección Ambiental, que incluye al cambio climático entre sus materias.

En Chiapas como en Tabasco, las leyes mencionadas proveen el sustento legal para la creación de una comisión intersecretarial para el cambio climático, como mecanismos de coordinación entre las instancias del gobierno estatal. En el caso de Tabasco, se contempla también un Comité Interinstitucional de Cambio Climático, integrado por representantes de los tres niveles de gobierno, de los sectores académico, empresarial, productivo, organizaciones no gubernamentales y sectores de la sociedad (artículo 31, II). En Chiapas existen otros mecanismos de participación, que incluyen al grupo de trabajo para cambio climático del Consejo Ambiental Estatal, integrado por grupos de mujeres, jóvenes, asociaciones civiles y los líderes de comunidades indígenas. Adicionalmente, el Grupo Estatal de Servicios Ecosistémicos (GESE), articula los esfuerzos de organizaciones gubernamentales, académicas y sociales para implementar mecanismos de mitigación de gases de efecto invernadero.

Ambos estados cuentan ya con un Programa Estatal de Adaptación al Cambio Climático (PEACC) que responden a las características, capacidades y condiciones de cada entidad.

Cuadro 10.3. Instrumentos de la Administración Pública Federal (APF) relevantes para el PAOM y oportunidades para generar sinergias.

Tipo de instrumentos y relación con los ejes de la ENCC	Políticas existentes y sectores de la APF	Áreas de oportunidad para generar sinergias
Gestión territorial: instrumentos que tienen como objetivo armonizar las actividades en un territorio específico (Ejes A1, A2 y A3)	SEMARNAT: ordenamiento ecológico general del territorio, ordenamientos ecológicos regionales y locales; zonificación forestal; ordenamientos forestales; Estrategia Nacional para el Ordenamiento Ecológico del Territorio en Mares y Costas. SEDESOL: ordenamientos estatales territoriales, Planes de Desarrollo Urbanos (PDU). Secretaría de Turismo (SECTUR): ordenamiento turístico. CONAGUA: Agenda del agua 2030.	Homologar, mediante la fusión y la anidación, conceptos y metodologías de los ordenamientos territoriales y de otros tipos, y ligarlos con los Atlas de Riesgo. Establecer criterios de adaptación en los Programas de Desarrollo Urbano. Adoptar un enfoque basado en funcionalidad de cuencas. Tener mayor claridad en las jerarquías de los instrumentos y actualizarlos.
Gestión de riesgos (Ejes A1 y A2)	El Programa de Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos (PRAH)* que financia la elaboración del Atlas de Riesgos, así como la construcción de obra pública para mitigación de riesgos ante desastre, con una cobertura nacional a cargo de la SEDATU. La SEGOB, principalmente, a través del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). El FONDEN y el FOPREDEN. La SAGARPA cuenta con el Componente de Atención a Desastres Naturales en el Sector Agropecuario y Pesquero (Cadena). La CONAGUA cuenta con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y con planes de contingencia por sequía formulados para cada Organismo de Cuenca; con el Programa de Protección a Centros de Población y con el Inventario Nacional de Obras de Protección contra Inundaciones en Cauces Naturales (CONAGUA, 2008).	La gestión de riesgos de origen hidrometeorológico y la adaptación tienen objetivos comunes, por lo que el instrumento articulador es el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) que abarca todos los municipios del país, por lo que puede ser la vía más eficaz para fortalecer las capacidades de a nivel local. Otra de las propuestas es organizar y hacer operativos los sistemas de alerta temprana, ampliar y mejorar la red de estaciones climatológicas e incluir monitoreo social y ecosistémico.
Conservación y restauración ecosistémica (Eje A3)	Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas; Estrategia de Cambio Climático en Áreas Protegidas; Programas de Adaptación en Áreas Naturales Protegidas. De la CONAFOR*, sobresalen los componentes de conservación y restauración, y el pago por servicios ambientales. El Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCES). La Coordinación de Corredores y Recursos Biológicos de la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO), antes Corredor Biológico Mesoamericano (CBM-M). También son relevantes las siguientes estrategias: Estrategia Nacional sobre la Biodiversidad de México (2000). Estrategia Mexicana de Conservación Vegetal (2008). Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México. Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras (2010). De la CONAGUA: Programa de reservas de agua. Norma mexicana de caudal ecológico.	Es necesario identificar áreas prioritarias para la conservación y la conectividad; mejorar el conocimiento sobre la capacidad de carga de los ecosistemas; incrementar programas de restauración ecológica; aumentar el conocimiento de las capacidades adaptativas de las especies; proteger cabeceras de cuenca, ecosistemas emblemáticos (por ejemplo, bosque mesófilo de montaña, humedales continentales y costeros), matorrales y pastizales. Se considera que el tema de la restauración ecológica no tiene la prioridad que debería tener, dadas las necesidades reales del país.

Reducción de las condiciones de vulnerabilidad social (Eje A1)	Atlas de Riesgos, Programas de Desarrollo Urbano, programas de prevención de riesgos en asentamientos humanos y los programas de y desarrollo social de la SEDESOL. Atlas de Riesgos sanitarios a cargo de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). La CONAGUA cuenta con el programa de Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales. El Instituto Nacional de las Mujeres (INMUJERES) y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) incluyen en sus programas, temas y acciones vinculados con un mayor conocimiento sobre cambio climático.	Este tema se refiere a trabajar de manera integrada con las instituciones que instrumentan las políticas para la reducción de las condiciones de vulnerabilidad en los asentamientos humanos. Esto tiene que ver con la sensibilidad y con la exposición de la población ante los impactos del cambio climático. (SEDESOL, SEGOB, Secretaría de Salud y CONAGUA, principalmente). Destaca la atención prioritaria a las poblaciones, que por sus condiciones de género, etnia o grupo étnico, están en situación de mayor vulnerabilidad. En este aspecto son clave la CDI, el INMUJERES y el Consejo Nacional para Prevenir La Discriminación (CONAPRED).
Fomento a actividades productivas (Ejes A1, A2, A3)	Sector primario: programas de fomento a las actividades productivas, ejemplos: PRONAFOR, Programa de Estímulos a la Productividad Ganadera (PROGAN), Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO)*, Programa de conservación y uso sustentable de suelo y agua (COUSSA), de infraestructura hidroagrícola (riego y temporal tecnificado). Políticas de apoyo de la SEDATU a los núcleos agrarios.	Armonizar los objetivos de las políticas públicas. Valorar los servicios ambientales e internalizar los costos ambientales. Incentivar buenas prácticas (energías renovables y uso eficiente de la energía). Disminuir subsidios con base en estudios de costo-beneficio para cada uno de los programas. En los sectores secundario y terciario de la producción, llenar los vacíos de información sobre cambio climático que fueron identificados.
Protección de infraestructura estratégica (Eje A2)	Acciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX) en materia de estimación de la vulnerabilidad climática del sector petrolero. Acciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en materia de análisis de vulnerabilidad en instalaciones eléctricas por fenómenos hidrometeorológicos extremos.	Sumar a los programas de protección de infraestructura desarrollados por cada dependencia y sector, la creación de un diagnóstico general de los costos y beneficios de las medidas de protección de infraestructura.

* Se anexan las reglas de operación.

Fuente: INECC, 2012.

El procedimiento para la elaboración de los PEACC fue un importante detonador para fortalecer las capacidades en los estados, ya que involucró a la comunidad científica de instituciones locales en la elaboración de los diagnósticos y análisis; propició la participación de las autoridades estatales de diferentes sectores; y se basó en un diagnóstico, riguroso en su metodología, de las condiciones estatales que informan el planteamiento de medidas de respuesta. Ambos programas son el resultado de procesos amplios de coordinación intersecretarial, así como de participación pública.

Existen otros instrumentos a nivel estatal que facilitarán la atención a los retos del cambio climático, en tanto que contribuyen al fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas y la conectividad biológica⁶². En este sentido, resultan clave las orientaciones que han integrado ambas entidades en sus planes estatales de desarrollo. Como se señaló en la introducción de este documento, tanto el Plan Estatal de Desarrollo de Chiapas 2013-2018, como el Plan Estatal de Desarrollo de Tabasco 2013-2018 reconocen la importancia de lograr acuerdos interestatales con el Gobierno Federal mexicano y con Guatemala, para lograr una gestión integral en las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, a fin de que el agua sea un recurso que apoye el desarrollo y no se convierta en una amenaza.

Otros instrumentos estatales que destacan en el marco del PAOM son los Programas Estatales de Ordenamiento del Territorio (PEOT) de ambos estados, que tienen su fundamento en la Ley General de Asentamientos Humanos, así como en las Estrategias Estatales para la Biodiversidad. En todos estos casos, se trata de instrumentos de planeación que involucraron a diversos sectores para desarrollar un diagnóstico sólido a nivel estatal e informar el desarrollo de políticas públicas.

10.2.3 Marco municipal

El INECC ha contribuido al fortalecimiento de las capacidades municipales para la adaptación, a través de la elaboración de los Planes de Acción Climática Municipal (PACMUN), cuyo objetivo es orientar las políticas públicas municipales en materia de vulnerabilidad, adaptación y mitigación al cambio climático en el ámbito local. Del total de 116 municipios ubicados en la región de la cuenca Grijalva-Usumacinta, únicamente cinco han iniciado la elaboración de su PACMUN: dos en Chiapas (Tuxtla Gutiérrez y Cintalapa) y tres en Tabasco (Centro, Nacajuca y Emiliano Zapata)⁶³.

Otros instrumentos de política de cambio climático a nivel municipal, contemplados en la LGCC, son: los Atlas de Riesgos de municipios vulnerables, los procedimientos de evaluación de los PACMUN y la gestión de recursos para financiar las políticas y acciones frente al cambio climático. Estos instrumentos son particularmente importantes en términos de las atribuciones que la misma LGCC señala para los municipios, que incluyen la prestación del servicio de agua potable y saneamiento; ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano; recursos naturales y protección al ambiente; protección civil; manejo de residuos sólidos municipales; así como transporte público de pasajeros. Otros instrumentos relevantes a nivel municipal son: los Programas de

⁶² Otros ordenamientos relevantes a nivel estatal son: los reglamentos internos de sus Secretarías de Medio Ambiente; Ley de Protección Ambiental; Ley Orgánica Municipal; Ley de Participación Ciudadana; Ley de Ordenamiento Sustentable del Territorio; Ley de Usos de Agua; Ley de Desarrollo Rural Sustentable; Ley de Protección Civil y su Reglamento; así como la Ley Forestal.

⁶³ <http://pacmun.org.mx/municipios-participantes/>. Consultado el 3 de junio de 2013.

Ordenamiento Ecológico Local, los PDU⁶⁴ y el Programa Municipio Seguro Resistente a Desastres.

El PAOM abordará el desarrollo de los instrumentos de política para el cambio climático a nivel municipal una vez que se definan los sitios prioritarios para implementar intervenciones de adaptación, ordenamiento y manejo integrado de cuencas. Lo anterior se hará tomando en cuenta la gran heterogeneidad existente entre los marcos y capacidades institucionales de los municipios de México. En particular, el INECC (2012), señala tres limitantes fundamentales para el desarrollo de políticas y acciones frente al cambio climático: 1) capacidades heterogéneas de los funcionarios municipales; 2) escasos recursos, principalmente en el rubro de medio ambiente; y 3) periodos de tres años, los cuales se consideran cortos para enfrentar retos de largo plazo, como es el caso del de cambio climático.

10.3 Experiencias de coordinación horizontal y vertical relevantes para la instrumentación del PAOM

Esta sección resume algunas de las experiencias que se han desarrollado en México en los últimos años y que contienen elementos innovadores que podrían ser incorporados al marco institucional del PAOM. En particular, se seleccionaron lecciones valiosas encaminadas a lograr una coordinación intersectorial y concurrencia entre diferentes niveles de gobierno, así como la incursión en mecanismos innovadores de financiamiento, pues tanto la falta de coordinación horizontal y vertical, como la ausencia de un financiamiento ágil y con horizonte de mediano a largo plazo, están identificados como obstáculos significativos para la promoción del desarrollo sustentable⁶⁵.

En términos de la coordinación horizontal y vertical, ésta se ha reconocido como un elemento indispensable por el reconocimiento de que las causas y efectos de la degradación ambiental, así como el cambio climático, trascienden del sector ambiental. Se han distinguido al menos tres dimensiones del problema relacionadas con: 1) los diseños interinstitucionales, 2) los mecanismos de vinculación y 3) la operación integrada de programas y acciones (Semarnap, 2000; PNUD, 2006; PNUD, 2009). El cuadro 10.4 resume los principales retos para la coordinación interinstitucional relevantes en el contexto del PAOM.

⁶⁴ De acuerdo con la LGCC, antes del 30 de noviembre de 2015, los municipios más vulnerables deberán contar con un PDU que considere los efectos del cambio climático.

⁶⁵ Estos elementos fueron también identificados como obstáculos potenciales al PAOM durante el taller participativo organizado en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en mayo de 2013, como parte de preparación del PAOM.

Cuadro 10.4. Dimensiones de la integración institucional para el PAOM y elementos asociados a la transversalidad, la coordinación y la operación integrada.

Dimensiones	Elementos Asociados
1. Diseños interinstitucionales - transversalidad	1.1 Prioridad, jerarquías, autoridad y liderazgos compartidos.
	1.2 Mandatos de política y asignación de facultades entre organismos públicos.
2. Mecanismos de vinculación - coordinación	2.1 Pertinencia y eficiencia de los espacios de interacción.
	2. 2 Instrumentos normativos de coordinación.
3. Operación integrada - integración vertical	3.1 Distribución de competencias entre órdenes de gobierno.
	3.2 Alineación y convergencia territorial de acciones institucionales segmentadas.
	3.3 Interacción e intervención de espacios institucionales y agentes locales.

Fuente: Adaptado de Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente "Aplicación de Mecanismos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación en Ejidos y Comunidades" (USAID, 2010).

En cuanto a financiamiento, los principales obstáculos identificados son:

- La discontinuidad de programas presupuestales, lo que inhibe una planeación multianual.
- La falta de recursos para financiar el fortalecimiento de capacidades.
- La asignación basada en criterios que no responden a las prioridades locales.
- Las reglas de operación excesivamente rígidas que impiden atender integralmente la problemática detectada.
- Los periodos cortos para el ejercicio de los fondos.

En el caso de subsidios asignados a través de programas públicos:

- Las dificultades de los posibles beneficiarios para cumplir con los requisitos.
- Los recursos asignados en tiempos que no corresponden a los ciclos de las actividades productivas.
- Las ventanillas que abren en diferentes tiempos y que, por lo tanto, impiden coordinar acciones en el territorio⁶⁶.

A continuación se resumen tres experiencias de coordinación que son un referente institucional para el PAOM: 1) Comisión Regional de Cambio Climático de la Península de Yucatán, 2) Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable en Corredores Biológicos

⁶⁶ Identificados a través del taller participativo organizado en Tuxtla Gutiérrez en mayo de 2013, como parte de preparación del PAOM.

de Chiapas y 3) Junta Intermunicipal del Río Ayuquila. A fin de extraer lecciones relevantes para el PAOM, en cada caso se describen los principales elementos del marco normativo, las estrategias y los instrumentos de planeación para la adaptación al cambio climático, la coordinación intersectorial y los instrumentos de financiamiento que se han utilizado hasta ahora.

Experiencia 1: Comisión Regional de Cambio Climático de la Península de Yucatán

Marco normativo

El “Acuerdo General de Coordinación entre los Gobiernos Estatales de Campeche, Quintana Roo y Yucatán”, firmado por los gobernadores de los tres estados en diciembre de 2012, tiene como objeto desarrollar un marco de cooperación y coordinación interestatal para llevar a cabo acciones y estrategias conjuntas que aborden la adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático en la Península de Yucatán.

Este acuerdo define tres ejes claves:

- Estrategia Regional de Adaptación al Cambio Climático de la Península de Yucatán (liderada por Campeche).
- Programa Regional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD+) en la Península de Yucatán (encabezada por Yucatán).
- Creación de un Fondo para la Acción Climática de la Península de Yucatán (liderada por Quintana Roo).

Estrategias e instrumentos de planeación para la adaptación al cambio climático

Conforme al Acuerdo, se prepara actualmente una estrategia regional como un instrumento de política ambiental, con una visión integral, que determine las líneas de acción y proyectos a desarrollar por las tres entidades federativas en materia de adaptación a los efectos del cambio climático en la Península de Yucatán, para disminuir vulnerabilidades actuales y a futuro en sectores prioritarios.

La Estrategia Regional de Adaptación se presentará tentativamente en el año 2014. El Acuerdo indica que esta actividad se desarrolla con base en un conjunto de escenarios generados a nivel regional, considerando la vulnerabilidad actual y futura de los sectores agropecuario, pesquero y acuícola, energía (industria petrolera) y turismo, así como de los sistemas hídrico (disponibilidad y calidad del agua), biodiversidad y asentamientos humanos ante la variabilidad y los efectos del cambio climático (intensificación del régimen de precipitación, aumento de la temperatura y elevación del nivel del mar).

Asimismo, se identificarán y evaluarán opciones de adaptación en estos sectores, con el apoyo técnico de la SEMARNAT y el INECC, y se promoverá la asistencia técnica y financiera de instituciones de cooperación internacional.

Coordinación intersectorial

El Acuerdo crea la Comisión Regional de Cambio Climático como mecanismo de coordinación, consulta y comunicación entre los tres gobiernos estatales para fomentar políticas públicas que contribuyan al logro de los objetivos de los programas nacionales y estatales de cambio climático. La Comisión está integrada por:

- Dos representantes de cada gobierno estatal: el titular del sector ambiental y el titular de otra secretaría que sea designado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del estado.
- Un representante de la SEMARNAT.
- Dos representantes de cada Comisión Estatal de Cambio Climático: uno del sector académico y otro de organizaciones no gubernamentales.

La Comisión tiene una presidencia rotativa, con periodos de un año. El gobernador actúa como presidente, mientras que el titular del sector ambiental del mismo estado ejerce la función de Secretario Técnico. Además, se crean grupos de trabajo para los temas acordados.

Existe un Consejo Consultivo Regional, el cual está integrado por instituciones académicas y expertos en el tema. El Consejo brinda asesoría y genera reportes técnicos sobre los temas relevantes de cambio climático en la Península de Yucatán. También es el responsable de monitorear las estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático.

Los Programas Estatales de Cambio Climático informan el desarrollo del Plan Regional de Acción ante el Cambio Climático. A su vez, las acciones regionales consensuadas en la Comisión son implementadas en cada estado a través de las Comisiones Estatales de Cambio Climático.

Instrumentos de financiamiento

El Acuerdo indica que los estados promoverán la creación de un Fondo para la Acción Climática de la Península de Yucatán. Además, la Comisión Regional de Cambio Climático crea un Consejo Técnico que es responsable del manejo del Fondo. Aún cuando este último no se ha constituido, la alianza regional ha permitido atraer recursos de otras fuentes, como el financiamiento de la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD)

y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), en colaboración con la Comisión Nacional Forestal, para desarrollar acciones tempranas REDD+.

Experiencia 2: Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable en Corredores Biológicos de Chiapas

Marco normativo

Este proyecto responde a la necesidad de coordinar la política ambiental con la de desarrollo rural, con el fin de hacer coherentes los apoyos al campo. La coordinación entre ambos sectores se enmarca en el “Convenio de colaboración para la realización de acciones de sustentabilidad ambiental, en los municipios de los estados de Chiapas, Campeche, Quintana Roo y Yucatán, que integran el Corredor Biológico Mesoamericano-México”, firmado entre los titulares de SAGARPA y SEMARNAT el 7 de abril de 2008.

Además, se respaldó institucionalmente este acuerdo al incluirlo en el PECC 2009-2012 (elaborado en el 2008) como meta de adaptación A.76: “Implementar un convenio de colaboración SEMARNAT-SAGARPA para realizar acciones de sustentabilidad ambiental en los municipios que integran el Corredor Biológico Mesoamericano-México” (Subcapítulo Ecosistemas, objetivo 3.4.1⁶⁷).

A partir del primer acuerdo, se derivó un convenio de colaboración adicional, denominado “Desarrollo Rural Sustentable en los Corredores Biológicos de Chiapas”, entre SAGARPA y Nacional Financiera como fiduciaria del Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad, para los años 2009, 2010, 2011 y 2012. Este arreglo ha permitido una asignación anual de recursos de la SAGARPA a la CONABIO, la cual es la entidad encargada de ejecutar el proyecto, en apego a las reglas de operación de los distintos programas de esa Secretaría, de los cuales emanan los recursos.

El programa se fortaleció en el año 2010, cuando se firmó un nuevo convenio de colaboración entre la CONAFOR y la CONABIO para que esta última se convirtiera en agente técnico del recientemente creado “Programa Especial para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la Selva Lacandona” (PESL) de la CONAFOR.

⁶⁷ Objetivo 3.4.1 del PECC: preservar, ampliar e interconectar los ecosistemas naturales prioritarios y su biodiversidad considerando las potenciales afectaciones relacionadas con cambio climático.

Estrategias e instrumentos de planeación

El proyecto Desarrollo Rural en Corredores Biológicos en Chiapas busca promover el desarrollo territorial en las regiones de la Selva Lacandona, la Sierra Madre del Sur y la Selva Zoque. En total atiende 117 comunidades de 14 municipios. La metodología se basa en los aportes técnicos-metodológicos del Programa de Seguridad Alimentaria (PESA)⁶⁸, mismos que se articulan y complementan con otros enfoques teóricos del desarrollo territorial, cuya premisa es que la conservación de la biodiversidad es resultado de una gestión territorial en la cual participa activamente la población local, con acuerdos entre productores, organizaciones y comunidades, y éstos con los distintos niveles de gobierno, instancias académicas y organismos privados.

Coordinación intersectorial

La coordinación intersectorial (ambiental y rural) se genera a partir del diseño del proyecto, ya que busca incidir en territorios con actividades tradicionalmente agropecuarias y alinearlas a la política ambiental para lograr que los productores aprovechen sustentablemente los recursos naturales, de tal forma que promuevan la conservación de la biodiversidad y logren mayores beneficios económicos.

La CONABIO coordina el proyecto y promueve convenios interinstitucionales a nivel estatal y local. Se encarga de la contratación y seguimiento del trabajo de las Agencias de Desarrollo Sustentable⁶⁹ (ADS) y promotores comunitarios, promueve y valida proyectos, organiza eventos de capacitación y evalúa el impacto de las acciones en campo.

Para la realización de su trabajo en campo, la CONABIO convoca a las ADS, encargadas de: la promoción de proyectos de reconversión productiva y gestión territorial comunitaria; la elaboración de proyectos productivos agroforestales; la capacitación de grupos de trabajo; y de la evaluación de proyectos ejecutados.

Los promotores comunitarios, por su parte, apoyan acuerdos entre las ADS y los productores fungen como enlace con las autoridades municipales, identifican oportunidades e innovaciones, promueven el intercambio de experiencias y dan seguimiento a las acciones en campo.

⁶⁸ Es un programa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la SAGARPA, considerado muy exitoso.

⁶⁹ Persona moral conformada por profesionistas y técnicos en equipos multidisciplinarios.

Instrumento de financiamiento

Para la operación de este proyecto se cuenta con los siguientes instrumentos de financiamiento:

- Convenio de colaboración SAGARPA/Nacional Financiera (CONABIO) para la ejecución del Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable en los corredores biológicos de Chiapas, correspondiente al año del ejercicio (2008, 2009, 2010, 2011 y 2012).
- Convenio de colaboración CONAFOR/Nacional Financiera (CONABIO) que convierte a la CONABIO en agente técnico del “Programa Especial para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la Selva Lacandona”, correspondiente al año del ejercicio (2010, 2011 y 2012).

Mediante ambos convenios, los recursos ingresan directamente al Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad, mismos que se ejercen de acuerdo a los lineamientos operativos del PESL y las reglas de operación de SAGARPA.

Experiencia 3. Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (JIRA)

Marco normativo

El primer antecedente normativo de la JIRA consiste en la firma de una carta compromiso entre ocho presidentes municipales en Jalisco, la Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (DRBSM) y el Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (IMECBIO) para la ejecución conjunta de la Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Ayuquila (IIGICRA). Dicha iniciativa comprendía una serie de proyectos que buscaban responder a una fuerte demanda social para mejorar las condiciones ambientales del río, que se veía significativamente afectado por descargas de aguas residuales urbanas, manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos, aguas residuales de un ingenio azucarero y el cambio de uso de suelo en la región (Graf *et al.*, sin fecha). En 2002 se estableció un fideicomiso privado con aportaciones de los tres niveles de gobierno para apoyar la instrumentación de la iniciativa.

La creación de una agrupación de municipios surge como respuesta a una serie de factores, que incluyen: la necesidad de enfrentar problemas que involucran espacios más amplios que su propio territorio; recursos humanos y económicos limitados; falta de información para la toma de decisiones; falta de continuidad en los periodos cortos de la administración municipal; así como la incapacidad de los mecanismos institucionales existentes para atender de manera integral los problemas de la cuenca (Graf *et al.*, sin fecha).

Si bien la iniciativa tuvo logros importantes, su continuidad se vio amenazada por cambios en las organizaciones gubernamentales municipales, estatales y federales que la respaldaban. En este contexto, la iniciativa se convirtió en 2007 en un organismo público descentralizado llamado “Junta Intermunicipal de medio ambiente para la gestión integral de la cuenca baja del río Ayuquila” (JIRA), la cual trabaja de manera coordinada con la Comisión de Cuenca Ayuquila Armería para atender la problemática en la cuenca media, trabajos que son reportados al Consejo de Cuenca Costa Pacífico Centro, constituido en febrero del 2009. La JIRA es una agencia ambiental intermunicipal que funge como oficina de servicios, con lo cual se busca consolidar la autonomía de la gestión intermunicipal ante cambios en la administración pública, además de establecer un servicio civil de carrera que dé continuidad a las políticas públicas de medio ambiente y recursos naturales.

Estrategias e instrumentos de planeación

A través de un ejercicio de planeación, la IIGICIRA definió sus líneas estratégicas para abordar la problemática de la gestión ambiental en la porción de la cuenca donde incide. Actualmente existe una Coordinación de Planeación, que trabaja con base en las siguientes líneas de acción:

- Planeación en el manejo del territorio.
- Participación pública.
- Saneamiento y restauración del río.
- Fortalecimiento de las capacidades institucionales
- Manejo de residuos sólidos.
- Protección y manejo de bosques (biodiversidad y servicios ambientales).
- Manejo integral de recursos hídricos.

Coordinación intersectorial

El Consejo de Administración es el máximo órgano de gobierno de la JIRA, donde participan actualmente: diez municipios; representantes del Gobierno del Estado, a través de las Secretarías de Desarrollo Rural (SEDER) y Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES); representantes del Gobierno Federal, a través de la SEMARNAT; el Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara, por conducto del Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECBIO; y la Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C.

Además de la coordinación en el seno del Consejo de Administración, existe una mayor coordinación con instancias del gobierno federal, estatal y otros actores clave para atender temas específicos. Por ejemplo, el grupo de trabajo para la línea estratégica de saneamiento y restauración del río incluye entre sus miembros: al Instituto Mexicano

de Tecnología del Agua (IMTA), la Comisión de Cuenca Ayuquila Armería, la Comisión Nacional Forestal, la Universidad de Guadalajara, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y otras organizaciones no gubernamentales. Se cuenta con esfuerzos similares para otras líneas de acción.

Actualmente se encuentra en proceso de constitución un Consejo Ciudadano, cuyo papel será participar y opinar en los procesos de planeación, así como ser garantes de la transparencia en la aplicación de los recursos utilizados por la JIRA.

Instrumento de financiamiento

En el 2002 se firma el acuerdo de creación del fideicomiso para impulsar la iniciativa local, contando con la participación financiera de la SEMARNAT, la CONANP y los ocho ayuntamientos firmantes. En 2012, la JIRA firmó un convenio con la CONAFOR para funcionar como Agente Técnico Local del Programa Especial de Cuencas Costeras, lo que permitió converger fondos de la Agencia Francesa de Desarrollo y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. La JIRA, hoy en día, recibe apoyo de la AFD para reforzar y consolidar sus capacidades técnicas e institucionales para la implementación de acciones tempranas de REDD+.

Actualmente se llevan a cabo distintos esfuerzos para replicar la experiencia de la JIRA en otras regiones del país, en gran medida apoyadas por la CONAFOR en colaboración con la AFD y la AECID en el marco del proyecto “Implementación de Acciones Tempranas REDD+ en cuencas prioritarias de México a través de la construcción de mecanismos de gobernanza a nivel local” financiado por el Fondo de Inversión para América Latina (*Latin American Investment Facility*) de la Unión Europea.

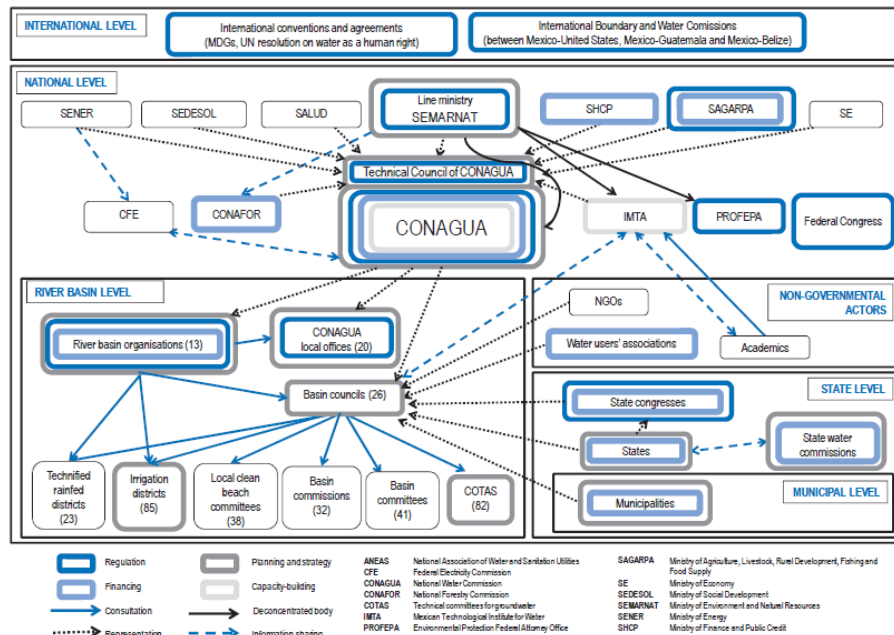
10.4 Institucionalidad para la gestión del agua en México e institucionalidad en la cuenca del Grijalva Usumacinta

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) proporciona el sustento jurídico para fortalecer la coordinación horizontal y vertical en la gestión de los recursos hídricos en el marco del PAOM. De acuerdo con esta ley, la CONAGUA puede promover la coordinación de acciones con los gobiernos estatales y municipales. La planeación y administración de los recursos hídricos, utilizando como unidad la cuenca o región hidrológica, se llevan a cabo a través de los Consejos de Cuenca⁷⁰, donde pueden participar los tres órdenes de gobierno, los usuarios del agua, los particulares y las organizaciones de la sociedad civil.

⁷⁰ Según la ley, los Consejos de Cuenca son órganos colegiados de integración mixta, que funcionan como instancias de coordinación y de concertación, de apoyo, consulta y asesoría entre la CONAGUA y el organismo de cuenca que corresponda, como otro más de los actores que participan en el consejo.

A partir de 1992, la LAN transfirió responsabilidades a organismos, consejos y cuerpos auxiliares a nivel subnacional. La Figura 10.1 muestra gráficamente la estructura y funcionamiento de la CONAGUA y de estos cuerpos.

Figura 10.1. Estructura y funcionamiento de la CONAGUA.



Fuente: OCDE, 2013.

El esquema de la Figura 10.1 permite entender la gestión institucional del agua en México desde tres posibles enfoques:

- A partir del rol desempeñado por los actores: regulación, financiamiento, construcción de capacidades y planeación, y estrategia.
- Acorde a niveles de gobierno (incluso se considera el ámbito internacional): convenciones y acuerdos internacionales, y comisiones fronterizas; nivel nacional, de cuenca, estatal y municipal.
- Por las relaciones entre los actores: consulta, representación, intercambio de información y anidamiento organizacional.

Acorde a lo anterior, es posible caracterizar puntualmente a las principales instancias de gestión del agua. La CONAGUA, órgano rector del agua en México a nivel federal y descentrado de la SEMARNAT, cuenta con representación en su consejo técnico

de las secretarías de estado y del IMTA. Tiene representatividad en Organismos de Cuenca, agencias y Consejos de Cuenca.

Los **Organismos de Cuenca**, de índole exclusivamente gubernamental, son: “unidades técnicas, administrativas y jurídicas especializadas con carácter autónomo (...) adscritas directamente al titular de la CONAGUA, (...) tienen el perfil de unidades regionales especializadas para cumplir con sus funciones (...), deben funcionar armónicamente con los consejos de cuenca en la gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas hidrológicas y en las regiones hidrológicas”⁷¹. Los organismos desempeñan roles para la regulación, el financiamiento, así como para la planeación y estrategia, y son instancias de consulta para las agencias locales de la CONAGUA, para los consejos de cuenca y para los distritos de riego.

Cada Organismo de Cuenca tiene un consejo consultivo en el que participan representantes de otras instituciones públicas federales (las Secretarías de: Hacienda, Desarrollo Social, Energía, Economía, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Salud, Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; y la CONAFOR), representantes de los estados y municipios y un representante designado de los usuarios que pertenezcan al Consejo de Cuenca de la región hidrológica-administrativa, quienes pueden intervenir con voz, pero sin voto. Sus integrantes, en conjunto, pueden intervenir respecto a la política hídrica regional por cuenca hidrológica, en la programación hídrica, así como en los asuntos de administración del agua, los programas del organismo y su presupuesto, entre otros.

La gestión del agua en la cuenca del Grijalva-Usumacinta está a cargo del Organismo de Cuenca Frontera Sur, en la Región Hidrológica-Administrativa XI, la cual se desarrolla, principalmente, en tres regiones hidrológicas (RH): RH 30 (Grijalva - Usumacinta); RH 23 (Costa de Chiapas); y una fracción de la RH 29 (Cuenca tabasqueña del Río Tonalá). El Organismo de Cuenca tiene su sede en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, y su área de influencia está distribuida de la siguiente manera: 73% correspondiente al estado de Chiapas; 24% al de Tabasco; 2% al de Oaxaca y 1% al de Campeche.

Los **Consejos de Cuenca** desempeñan funciones de planeación y estrategia. Están representados en ellos: la CONAGUA, asociaciones de usuarios, congresos estatales, gobiernos estatales y ayuntamientos. Son instancias de consulta para distritos de riego, comités locales de playas, comisiones de cuenca, comités de cuenca y COTAS. Los consejos de cuenca no mantienen una relación de subordinación con ninguna de las instancias anteriores, ni con respecto al Organismo de Cuenca.

⁷¹ LAN, artículo 3.

Cada integrante del consejo de cuenca tiene un peso específico que se ilustra en función de su porcentaje de representación, de tal forma que los actores principales son los tres órdenes de gobierno, los usuarios del agua (35%) y las organizaciones de la sociedad (50%)⁷². Cuentan con al menos cuatro órganos para su funcionamiento: 1) la Asamblea General de Usuarios⁷³, 2) el Comité Directivo del Consejo de Cuenca, 3) la Comisión de Operación y 4) Vigilancia del Consejo de Cuenca y la Gerencia Operativa.

En la región Frontera Sur se han constituido dos Consejos de Cuenca: 1) de los ríos Grijalva y Usumacinta y 2) de la costa de Chiapas. Estos consejos se auxilian para el ejercicio de sus funciones en otros tres órganos colegiados de integración mixta que son⁷⁴:

- Comisiones de Cuenca: con ámbito de acción a nivel subcuenca o grupo de subcuencas de una cuenca hidrológica en particular. No hay ninguna comisión instalada en la región Grijalva-Usumacinta.
- Comités de Cuenca: con ámbito de acción en microcuenca o grupo de microcuencas de la subcuenca específica. Se han instalado ocho: Coapa, Coatán, Cuxtepec, Lagartero, Lagunas de Montebello, Playas Limpias de Tapachula, Sabinal y Zanatenco⁷⁵.
- Comités Técnicos: con ámbito de acción en aguas del subsuelo o subterráneas que desarrollan actividades en relación a un acuífero o grupo de acuíferos determinados.

La LAN también establece condiciones importantes para el uso del agua en la generación de energía hidroeléctrica. Las principales disposiciones, en este sentido, indican que la CONAGUA está facultada para determinar si existen volúmenes disponibles para la generación de energía eléctrica y el enfriamiento de plantas por lo que, en tal caso, otorgará la concesión a la CFE. Además, corresponde a la CONAGUA realizar la programación periódica de extracción de cada corriente, vaso o depósito, para coordinar el aprovechamiento hidroeléctrico con los demás usos del agua. La CFE puede llevar a cabo estudios y planeación en relación con el aprovechamiento del agua para la generación

⁷² Cada Consejo de Cuenca regula su funcionamiento de acuerdo a determinadas “Reglas Generales de Integración, Organización y Funcionamiento del Consejo de Cuenca”.

⁷³ Para la incorporación de los usuarios se considera la representatividad que tienen los usos del agua en la cuenca o cuencas hidrológicas.

⁷⁴ Como en el caso de los Consejos de Cuenca, no son órganos subordinados a la CONAGUA o al organismo de cuenca.

⁷⁵ Según la CONAGUA, algunos de estos Comités se encuentran aún en período de maduración (Coatán, Lagunas de Montebello y Playas Limpias de Tapachula), pero otros de ellos, como los de Coapa y Cuxtepec, han alcanzado niveles de maduración importantes que les permiten contar con el apoyo económico de las comunidades para gestionar la concurrencia de recursos para la ejecución de distintos programas de conservación (CONAGUA, 2010).

de energía eléctrica, pero éstos deben ser aprobados por la CONAGUA. Asimismo, la CONAGUA tiene el mandato legal para utilizar o concesionar la infraestructura a su cargo para generar energía eléctrica y disponer del excedente. Los particulares pueden solicitar concesiones a la CONAGUA para la generación de energía, considerando que ésta debe ser para autoconsumo o para pequeños productores.

A pesar de la existencia de este importante entramado institucional para la gestión de los recursos hídricos, en México existe evidencia de que no existe un tipo de organización único capaz de llevar adelante un proceso de manejo integral de cuencas, sino que la condición socio-cultural y la presencia institucional determinarán el tipo de organización más adecuado. En algunos casos, las comisiones de cuencas y sus órganos auxiliares han funcionado exitosamente, como en Pátzcuaro, Pixquiac, Lagartero, Copalita. Cotler *et al.* (2009) señalan que varias comisiones de cuenca se están creando actualmente y que algunas se están convirtiendo en asociaciones civiles para flexibilizar el trabajo con las comunidades y las instituciones.

Sin embargo, existe también evidencia de que los organismos, consejos y otros espacios de gestión del agua no son aún totalmente operativos, incluso cuando México es pionero en manejo de cuencas. Uno de los principales retos que enfrenta la gestión de los recursos hídricos es la centralización del poder para la toma de decisiones en las manos de la CONAGUA y sus oficinas regionales y locales, lo que limita a los consejos de cuenca en términos de capacidad, regulación, planeación y financiamiento para cumplir sus funciones (OCDE, 2013).

Por otro lado, la mayoría de los presidentes de los consejos de cuenca no son electos, lo que pone en duda la legitimidad de sus funciones representativas y en riesgo su captura por parte de intereses políticos. Además, la representación de pequeños productores y comunidades indígenas es aún insuficiente. Como unidades coordinadoras, los Consejos de Cuenca realizan recomendaciones a las autoridades gubernamentales y a usuarios, pero su rol y funciones no siempre son entendidos, especialmente en el ámbito de participación pública (OCDE, 2013).

Una de las principales recomendaciones que se ha hecho para fortalecer la gobernanza de los recursos hídricos consiste en empoderar a las autoridades de cuenca con mayores responsabilidades y autonomía. Los Consejos de Cuenca, de ser totalmente operativos, podrían jugar un rol importante en el diseño de políticas “hechas a la medida”. La identificación de proyectos necesarios y el desarrollo de planes estratégicos a nivel de cuenca y subcuenca supondría una ayuda y podría implicar la mayor descentralización de responsabilidad al permitir a los consejos usar su poder para la toma de decisiones en asuntos importantes. Al mismo tiempo, los Organismos de Cuenca deberían ser capaces de manejar una parte de su presupuesto al tiempo que provean un sistema regulatorio que asegure transparencia y rendición de cuentas (OCDE, 2013).

10.5 Procesos para la asignación de recursos presupuestales a proyectos de gestión ambiental en los niveles estatal y municipal

El proceso de elaboración presupuestal es un importante ejercicio de concurrencia de funciones entre los tres niveles de gobierno. Los estatales, a través de sus secretarías del sector ambiental, entran en contacto directo con el Poder Legislativo y con la SEMARNAT, con la finalidad de establecer consensos que permitan aterrizar recursos a proyectos específicos. Por su parte, los municipios juegan un papel sumamente relevante; en el caso de Tabasco y Chiapas, gran parte de los proyectos aprobados para el ejercicio fiscal 2013 serán ejecutados por los Ayuntamientos.

La Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la H. Cámara de Diputados define los lineamientos a seguir por parte de todas las entidades federativas en relación a la presentación y, en su caso, aprobación de proyectos para ser financiados con recursos del presupuesto de egresos de la federación. Esta comisión emite el acuerdo sobre las propuestas de modificación al presupuesto en lo correspondiente al Ramo 16 (Medio Ambiente y Recursos Naturales), a excepción de lo relacionado con la gestión del agua, cuya competencia corresponde a la Comisión de Recursos Hídricos.

La Comisión recomienda considerar para la presentación de proyectos los siguientes programas: Plan Estatal de Desarrollo, Programa Nacional de Prevención y Gestión Integral de Residuos, Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Estrategia Nacional de Mares y Costas, Estrategia Nacional de Territorios Insulares de México y la Estrategia Nacional de Biodiversidad⁷⁶.

Entre los datos que deben suministrarse se encuentra la información técnica del proyecto, los beneficios cuantificables esperados, la información legal de proyecto (autorizaciones de índole federal, estatal o municipal requeridas para el proyecto) y la información financiera del proyecto⁷⁷.

⁷⁶ Acuerdo de la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la H. Cámara de Diputados por el que se Establece el Procedimiento de Recepción y los Criterios de Aceptación de Proyectos Ambientales que serán incorporados a la opinión de la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales respecto al Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación, 2013.

⁷⁷ Los proyectos ambientales prioritarios para la Comisión en el ejercicio de elaboración del presupuesto 2013 son: a) Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio; b) los relacionados con el Programa de Prevención y Gestión Integral de los Residuos tales como: rellenos sanitarios, plantas de selección de residuos, centros integrales de reciclaje, aprovechamiento y tratamiento de residuos, etc.; c) acciones de conservación, protección y restauración de bosques y suelos en Áreas Naturales Protegidas Estatales y Federales, en áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad; d) programas estatales de gestión de calidad del aire; e) viveros forestales de especies nativas; f) reforestación de especies nativas; g) programas de prevención y control de incendios; h) programas y proyectos de educación ambiental; i) creación y fortalecimiento de Procuradurías de Justicia Ambiental; y j) luminarias que utilicen tecnologías eficientes en ahorro de energía.

Los proyectos que la Comisión reciba, revise y acepte se incluirán en la Opinión de la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales respecto al proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación, en el cual serán ordenados de acuerdo a las prioridades estatales enlistados en el formato denominado “Solicitud de Inclusión de Proyectos de Inversión al PEF 2013”.

En caso de ser necesaria la modificación del orden de los proyectos, dadas las restricciones presupuestales, se permitirá ajustar los montos del costo total para que se apeguen al presupuesto y prevalezca su prioridad dentro del listado. Cuando no sea posible la ejecución oportuna de los proyectos aprobados por la Comisión, la entidad federativa podrá hacer uso de los recursos para la compra de maquinaria, previa aprobación de la Comisión, pudiendo consistir en: equipos de vigilancia para incendios forestales, equipos para la gestión integral de residuos y para el monitoreo de la calidad del aire. Ahora bien, los gobiernos estatales cuentan con mecanismos presupuestales que les permiten tener proyectos y programas para atender sus necesidades de acuerdo a sus propios ordenamientos internos. La base para la integración del proyecto de presupuesto es el Programa Operativo Anual (POA), que consiste en el conjunto de programas que el Poder Ejecutivo considera realizar en un año, para dar cumplimiento a los objetivos plasmados en el Plan Estatal de Desarrollo y los Programas Sectoriales. El POA permite definir las obras, acciones y servicios a llevar a cabo.

El Manual de Programación-Presupuestación para la formulación del Proyecto del Presupuesto General de Egresos del Gobierno del Estado, (aplicable al periodo de gobierno 2007-2012) define las políticas y los lineamientos para que las dependencias y entidades de la administración pública estatal puedan integrar sus propios proyectos de presupuesto para cumplir con sus atribuciones. El manual explica que se deben tomar en consideración aspectos normativos sobre los criterios del gasto público. Por ejemplo, se señala que todas las obras, acciones de fomento y servicios que se programen deberán ir acompañadas de un Expediente Técnico Programático, en el cual se detallarán la justificación, el objetivo y descripción de las metas a realizar. En el caso de “Transferencias y subsidios”, se consideran los recursos que requieren para su ejecución un convenio o acuerdo entre los tres órdenes de gobierno, lo que permite que el proyecto cuente con las diferentes fuentes de financiamiento. Para tal efecto es necesario la formalización del convenio en el seno del Comité de Planeación para el Desarrollo de Tabasco (COPLADET), adjuntando el anexo técnico de autorización en el cual se detallen las acciones a realizar.

10.6 Lecciones para el PAOM de las experiencias revisadas

La *Alianza Regional de la Península de Yucatán* es un ejemplo de un mecanismo de gobernanza impulsado por los gobiernos estatales, con una colaboración que hasta

ahora se ha centrado en el desarrollo de instrumentos de planeación. La estrategia y su Acuerdo General de Coordinación son un referente fundamental para establecer otros acuerdos de carácter regional, como el requerido en el marco del PAOM, que permitan una gestión que articule a dos entidades federativas con una visión de la dinámica territorial más acorde con las necesidades de la adaptación, como la de fortalecer la atención a las cuencas hidrográficas.

La alianza peninsular ha logrado generar incentivos para la cooperación. Cada uno de los estados dirige una estrategia, y dado el interés que tiene en sacarla adelante, está dispuesto a hacer “contraprestaciones” respecto a las estrategias encabezadas por otros estados. La alianza ha permitido que la Península se posicione a nivel nacional, a fin de atraer el respaldo y financiamiento del gobierno federal y agencias internacionales. El alto perfil de la Comisión le ha dado mayor relevancia al tema del cambio climático.

Sin embargo, existen importantes diferencias entre la Península de Yucatán y la región Grijalva-Usumacinta: los factores biofísicos son más homogéneos en la Península y existe una mejor conectividad; ambos elementos facilitan la coordinación. Por otro lado, los avances que ha tenido la alianza peninsular son indicativos de los largos periodos que se requieren para construir consensos y avanzar en la planeación en instancias que carecen de periodos definidos, a diferencia de las administraciones federal, estatal y municipal.

El *Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable* en Corredores Biológicos de Chiapas es un ejemplo de un mecanismo enfocado en lograr una coordinación en el territorio para la instrumentación de programas, principalmente de origen federal. La transversalidad se da, en gran medida, por tener un mismo agente técnico con capacidad de operar proyectos de desarrollo rural, forestales y de conservación y uso sustentable de la biodiversidad, que a su vez, puede buscar lazos de colaboración con otros actores, incluyendo representantes de diferentes niveles de gobierno y productores locales.

El proyecto ha tenido que enfrentar vicios y problemas propios del ejercicio presupuestal en México, ya que los recursos suelen ser depositados en el fideicomiso en los meses de noviembre o diciembre del año en que se ejerce, lo que obliga a aplicarlos al año siguiente, pero reportándolos como ejercicio del año anterior. La experiencia generada después de cuatro años de operación del proyecto permite planear las acciones con antelación, de forma tal que cuando llega el presupuesto se tiene el procedimiento listo para ponerlo en marcha. Lo anterior implica que, si bien el uso de un fideicomiso da cierta flexibilidad para ejercer los recursos, dicho ejercicio no resuelve necesariamente todos los problemas asociados al gasto de recursos presupuestales en México.

La JIRA, ejemplo de un mecanismo de coordinación regional a escala municipal y de cuenca, se considera innovador en cuanto a su gobernanza local para la gestión

ambiental, pero sin restringirse únicamente a la participación de los municipios. Asimismo, incorpora como aliados estratégicos a dependencias federales y estatales, al sector académico y a la sociedad civil, mismos que tienen un papel fundamental como proveedores de asistencia técnica y apoyos. La JIRA ha tenido avances importantes para lograr una administración ambiental con cierta independencia de los cambios en las administraciones municipales y de otros niveles. Ello le ha permitido iniciar esquemas de planeación de mayor plazo, además de fortalecer capacidades institucionales fundamentales. A su vez, su fideicomiso ha sido un mecanismo ágil de financiamiento que ha crecido desde su constitución.

Los retos para la réplica de esta experiencia en la cuenca Grijalva-Usumacinta incluyen la necesidad de reducir los tiempos de maduración de las alianzas intermunicipales, la necesidad de liderazgos y capacidades locales para iniciar y encauzar los procesos de creación de las alianzas, así como la mayor escala de las cuencas y el número de municipios.

El marco legal vigente permite llevar a cabo una coordinación vertical y horizontal para la gestión de los recursos hídricos. Los diversos organismos que contempla la LAN tienen el potencial de equilibrar los requerimientos técnicos para cumplir con las responsabilidades del Estado en la materia, con la necesidad de incorporar a diferentes sectores, niveles de gobierno y actores de la sociedad en la toma de decisiones respecto a la gestión de los recursos hídricos.

Sin embargo, la existencia de este marco legal no es una condición suficiente para una gestión de los recursos hídricos, y mucho menos para la gestión integral de las cuencas, que involucra también a los territorios, la población asentada en ellos y el manejo de los recursos naturales. En el caso de la región considerada en el PAOM, el tamaño y las características tan diferentes de las cuencas de los ríos Grijalva-Usumacinta representan dificultades significativas. Aun cuando hay experiencias positivas, particularmente en algunas regiones de Chiapas, son válidas las recomendaciones de empoderar a las autoridades de cuenca con mayores responsabilidades y autonomía.

Los procesos de elaboración presupuestal, tanto con recursos federales como a nivel estatal, pueden ser importantes mecanismos de concurrencia, además de que no pueden ser sustituidos por ninguna otra fuente. Sin embargo, se trata de procesos llevados año con año que no facilitan una planeación multianual, como se requiere para atender los retos del cambio climático, el cual no es aún una prioridad en términos de las asignaciones presupuestales, como tampoco lo es el fortalecimiento institucional, a pesar de que las capacidades institucionales a niveles estatal y municipal representan obstáculos significativos para la atención adecuada a los riesgos naturales y a la vulnerabilidad.

10.7 Hacia la construcción de un marco institucional para el PAOM

Existen diversos retos que deben abordarse en la propuesta de la elaboración de un marco institucional para el PAOM. En primer lugar, debe reconocerse que la mayoría de los instrumentos de política contemplados en la LGCC se encuentran en desarrollo. En este caso, los socios del PAOM deberán asegurar la alineación y congruencia de los arreglos institucionales con los instrumentos que serán adoptados en los próximos meses por el Gobierno Federal. En segundo lugar, la LGCC hace escasas referencias a las acciones de carácter regional, como es el caso del PAOM; la experiencia de la Península de Yucatán muestra que esto no es un obstáculo para promover programas regionales en respuesta al cambio climático.

Con base en la información analizada, así como las entrevistas y el taller realizados, se recomienda que el marco institucional para el PAOM integre los elementos que se discuten a continuación.

Resulta indispensable un convenio de colaboración que formalice las relaciones entre los estados y la federación. Además de la experiencia de Yucatán, es necesario considerar los convenios firmados entre la SEMARNAT y diversos estados para la elaboración de los ordenamientos ecológicos del territorio⁷⁸. A diferencia del caso de Yucatán, estos convenios involucran a los gobiernos federal y estatal, con una mecánica de trabajo más clara. La SEMARNAT se compromete a promover la coordinación con otros sectores del gobierno federal, mientras que al gobierno estatal le corresponde la coordinación intersectorial en su jurisdicción, así como el involucramiento de los gobiernos municipales. El papel de la SEMARNAT se centra en la provisión de asesoría técnica, mientras que el estado es responsable, entre otras cosas, de impulsar el programa de ordenamiento, su cumplimiento y evaluación.

Cabe enfatizar que este documento no recomienda necesariamente utilizar los mismos mecanismos que contempla el marco legal para el ordenamiento ecológico del territorio, sino retomar de estas experiencias los elementos que han permitido alcanzar acuerdos entre diferentes niveles de gobierno, con esfuerzos claramente orientados a producir un instrumento formal de gestión ambiental en el territorio.

El Convenio entre los estados debería abarcar la problemática diferenciada de las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta. Algunos temas que podrían ser parte de la agenda de colaboración, identificados durante el taller organizado el 17 de mayo en el marco del PAOM, incluyen:

⁷⁸ Ver <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Paginas/ConveniosAcuerdos.aspx>

Para la cuenca del río Grijalva:

1. La gestión del cambio de uso del suelo y su relación con las inundaciones en la cuenca baja.
2. Crear un ordenamiento territorial y ecológico a nivel regional, integrando la adaptación al cambio climático.
3. Desarrollar proyectos estratégicos en materia de adaptación, ordenamiento y manejo integral de la cuenca y de gestión del capital natural.
4. Desarrollar mecanismos de colaboración intermunicipal.
5. Construir capacidades y el capital humano a nivel regional, incluyendo el apoyo a la investigación y desarrollo de tecnología y conocimiento que apoyen la resiliencia de los sistemas productivos frente al cambio climático.

Para la cuenca del río Usumacinta

1. Gestión hídrica.
 - a) Fortalecimiento del Consejo de Cuenca.
 - b) Reingeniería de organismos de gestión del agua.
 - c) Crear grupos de trabajo.
 - d) Crear comités separados para cada cuenca.
 - e) El agua como factor de desarrollo y no como amenaza.
2. Sistemas de alerta temprana.
3. Creación de corredores biológicos, particularmente para conectar Áreas Naturales Protegidas federales y estatales existentes.
4. Seguridad y sustentabilidad alimentaria.
5. Temas forestales.
 - a. Creación de un Comité Técnico Forestal para coordinar esfuerzos de reforestación.
 - b. REDD+ en la región.
 - c. Restauración de ecosistemas.
6. Participación social (alianzas con Organizaciones No Gubernamentales) para temas ambientales.
7. Instrumentos económicos para la gestión ambiental.
 - a. Fondo de agua (incluye servicios de regulación y captación hídrica, financiamiento, etc.).
 - b. Medidas de compensación del sector energético (CFE y PEMEX).
8. Investigación orientada a la toma de decisiones y políticas públicas.

El convenio debería permitir el desarrollo de mecanismos de colaboración anidados. Las experiencias revisadas en este capítulo muestran que mecanismos como las alianzas intermunicipales son particularmente útiles para la atención de problemas de atribución municipal, mientras que el proyecto de corredores biológicos es un ejemplo más

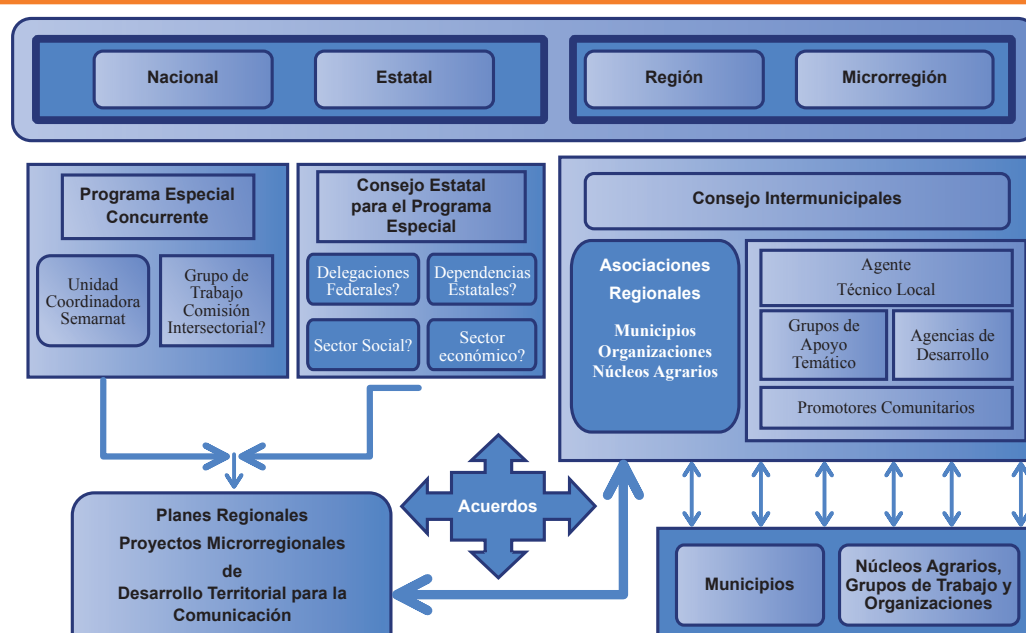
relevante para el trabajo con comunidades en proyectos productivos y de conservación. Dado que la adaptación al cambio climático requiere acciones en diferentes ámbitos y escalas, es difícil pensar que un solo esquema de coordinación será suficiente para la instrumentación del PAOM.

La CONABIO (2012) presenta una propuesta para el desarrollo territorial sustentable que podría ajustarse para el desarrollo del PAOM. A escala estatal, se puede explorar la opción de un comité estatal para cada uno de los dos estados para el PAOM, conformado por representantes de las dependencias estatales, delegaciones federales, municipales y de los sectores sociales y económicos. Este sería el órgano colegiado interinstitucional establecido para dar seguimiento al programa, realizar las adecuaciones necesarias a los lineamientos especiales sectoriales y resolver cualquier controversia.

Los planes y proyectos acordados o seleccionados para el PAOM deben ser, en este arreglo institucional, la base de los acuerdos entre los sectores gubernamental y no gubernamental. Se vislumbra que el PAOM puede impulsar tanto planes como proyectos localizados, pues se espera que en una región se establezcan líneas de trabajo generales, mientras que en el ámbito local, se concreten el soporte técnico, el fortalecimiento organizativo y el desarrollo de proyectos específicos.

El esquema de la Figura 10.2 sintetiza la propuesta de la CONABIO de manera ilustrativa, que es base para la propuesta a realizarse para el PAOM:

Figura 10.2. Propuesta de CONABIO.



Fuente: Conabio (2012).

A escala local, la CONABIO propone la figura de Agentes Técnicos Locales (ATL), como organismos responsables de coordinar acciones interinstitucionales a escalas regional y microrregional, con la perspectiva de custodiar la aplicación transversal de las políticas, así como la calidad en la aplicación de recursos públicos y fomentar los actores locales. Tanto la JIRA como la unidad de la CONABIO, responsable de la instrumentación de los proyectos de corredores biológicos en Chiapas, son ejemplos de la manera en que los ATL podrían operar.

Adicionalmente, la generación de esquemas de financiamiento innovadores será fundamental para complementar las fuentes existentes que enfrentan una serie de problemas, como se ha discutido anteriormente. Actualmente, se trabaja en el desarrollo del reglamento del Fondo de Cambio Climático establecido por la LGCC. Los resultados del trabajo preparatorio para el PAOM, que se han concluido hasta la fecha, permiten identificar algunos elementos que deberían ser incorporados para lograr que el financiamiento de dicho fondo permita realmente catalizar las acciones regionales, estatales y municipales de adaptación al cambio climático. Entre estos elementos destacan:

- a. *Presupuestos multianuales que permitan instrumentar consistentemente actividades de medio plazo*, condicionando la continuación del financiamiento a los logros obtenidos en el año anterior. El Fondo Forestal Mexicano ya proporciona recursos bajo convenios multianuales y las experiencias en su funcionamiento serán valiosas en este sentido.
- b. *Presupuestos compartidos entre diferentes entidades y niveles de gobierno*. La concurrencia de recursos es un incentivo fundamental para la cooperación horizontal y vertical. Al mismo tiempo, esta concurrencia de recursos deberá definir con claridad las responsabilidades de cada entidad participante para el cumplimiento de metas pactadas.
- c. *Presupuesto basado en un programa formalmente adoptado y consultado públicamente*, en el que se tengan metas e indicadores claros. Los PEACCs de Chiapas y Tabasco ya cumplen con estas características. Sin embargo, sería importante que el Fondo diera preferencia a programas regionales que permitan atender, de manera coordinada, los retos de adaptación al cambio climático en unidades geográficas que no coinciden con las delimitaciones estatales, como es el caso de las cuencas hidrográficas. De acuerdo con la misma LGCC, los programas de cambio climático deberán tener mecanismos de evaluación. En el caso del Fondo, sería importante realizar una evaluación a la mitad de la ejecución del programa para evaluar sus resultados y hacer ajustes pertinentes, ya sea por motivos de desempeño, o bien, para incorporar nuevos hallazgos o circunstancias sobre los efectos esperados del cambio climático.

- d. *Presupuestos para el fortalecimiento de capacidades, particularmente a nivel estatal y municipal.* Los componentes de fortalecimiento deberían ser un elemento necesario en todos los programas financiados por el fondo. Los recursos para este rubro deberían estar basados en un diagnóstico claro de necesidades, que permita a los funcionarios públicos realizar las actividades necesarias de manera adecuada para cumplir con sus responsabilidades, y a las organizaciones cumplir con los ambiciosos mandatos que les han dado por ley.

Se requieren mecanismos que fortalezcan la participación pública, la transparencia y la rendición de cuentas. En el caso de la gestión del agua, esto implica fortalecer los Consejos de Cuenca y buscar nuevas alianzas con los sectores social, privado y académico, entre otros, para avanzar en una gestión integral y participativa. Tanto Chiapas como Tabasco cuentan ya con mecanismos de participación pública importantes, como es el caso del Consejo Técnico Consultivo para REDD+ de Chiapas o el Comité Interinstitucional de Cambio Climático de Tabasco. Además de fortalecer estos mecanismos, resulta necesario crear instancias de participación a nivel regional. Por otra parte, el diseño y la operación de programas requieren una participación más amplia. En los diferentes encuentros, talleres y entrevistas que se han desarrollado para la preparación del PAOM, diversos actores han enfatizado la necesidad de consultar a las comunidades locales como una condición indispensable para la viabilidad de este programa.

Los mecanismos de transparencia y rendición de cuentas deberían integrar elementos similares a los contemplados en la LGCC para revisar y evaluar los instrumentos de política de cambio climático. Esta ley establece una coordinación de evaluación periódica y sistemática de la política de cambio climático. Además, de acuerdo a la ENCC, el Gobierno Federal está obligado a explicar cualquier desviación que se advierta entre las estimaciones proyectadas y los resultados evaluados. Tanto las revisiones como las evaluaciones permitirán actualizar la ENCC y, consecuentemente, los programas federales y estatales para el cambio climático. Sin embargo, las revisiones y actualizaciones jamás podrán hacerse en menoscabo de metas, proyecciones y objetivos previamente planteados, ni podrán promover su reducción.



Conclusiones

CONCLUSIONES

Este documento tuvo el objetivo de presentar el análisis sobre la problemática del cambio climático para la cuenca Grijalva-Usumacinta y la identificación de áreas de atención prioritaria para el Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM) de la cuenca. El diagnóstico fue realizado por un equipo interdisciplinario, utilizando metodologías rigurosas y en concordancia con las orientaciones de la política actual a nivel nacional y estatal en la región de interés. Este capítulo presenta las principales conclusiones del análisis.

Sin duda, una de las conclusiones más importantes es que los sistemas social y económico de la región se sustentan en el capital natural. Las principales actividades económicas, que van desde la actividad petrolera, la generación hidroeléctrica hasta la producción agropecuaria, están ligadas a los recursos naturales de la cuenca. La importancia del capital natural para la economía regional está asociada con un mayor grado de vulnerabilidad ante los riesgos del cambio climático. Además, este capital no ha sido utilizado para atender las necesidades de la población, como se puede observar en los altos grados de marginación y los importantes rezagos sociales que persisten, principalmente, en las comunidades rurales e indígenas. Esto se debe, en parte, a que no se retribuye a nivel local a las comunidades cercanas a los recursos hídricos o petroleros, por tratarse de bienes nacionales.

Otras partes del capital natural, como la biodiversidad, son bienes públicos y, por ello, resulta complejo que las comunidades locales puedan apropiarse de su valor y, al mismo tiempo, se promueva su conservación y uso sustentable. Finalmente, existen actividades, como la minería, que tienen creciente importancia y que generan costos severos y bien identificados sobre los ecosistemas y las comunidades, sin que proporcionen beneficios claros para la región. La continuación de este modelo de desarrollo amenaza el capital natural y social de la región, además de que hará más difícil la adaptación al cambio climático, ya que no contribuye a la formación de recursos ni capacidad adaptativa a nivel local, estatal ni regional.

La cuenca Grijalva-Usumacinta tiene áreas críticas expuestas a riesgos climáticos debido a su ubicación geográfica y características físicas. Si analizamos desde una perspectiva histórica el impacto de los fenómenos climáticos extremos en la región, se observa que en Chiapas, para el periodo 2000-2010, se registraron 167 eventos climáticos extremos de acuerdo con el Sistema Meteorológico Nacional (SMN), mientras que en Tabasco, para el periodo 2003-2010, el SMN registró un total de 130 eventos climáticos.

Además, aun frente a estos riesgos conocidos, diversas poblaciones de tamaño significativo y actividades económicas fundamentales para la región y el país se han

asentado en tales zonas, lo que aumenta las posibles pérdidas sociales y económicas en caso de un evento extremo en la región, lo que ayuda a entender la magnitud de los daños causados.

Los fenómenos climáticos extremos mencionados afectaron 1,102,720 personas y causaron daños valuados en 28 mil millones de pesos. En promedio, esto significa que más de 100 mil personas se ven afectadas cada año por eventos climáticos. Dicho número tenderá a aumentar tanto por el cambio climático, como por el incremento de la población, particularmente en los polos de desarrollo de Chiapas y Tabasco.

Otro de los efectos anticipados del cambio climático es el aumento del nivel del mar, el cual se manifestará principalmente en la cuenca baja, en su desembocadura en el Golfo de México, donde se forma el delta Grijalva-Usumacinta. Los estudios realizados en la zona indican que se podrían perder entre 5% y 8% del territorio de línea de costa de Tabasco, donde se afectarían, principalmente, las llanuras aluvial y de inundación, así como los sistemas de lomeríos y de vegas de río.

La exposición de la cuenca a eventos climáticos se conjuga con tendencias que reducen la resiliencia de los ecosistemas, dando como resultado un mayor riesgo de experimentar un desastre natural. A nivel de cuenca, tales tendencias incluyen un deterioro de los recursos naturales, relacionado con la deforestación y la degradación de suelos, que afectan los ecosistemas que son barreras naturales ante eventos climáticos extremos y resulta en una mayor vulnerabilidad física y social de la región.

La cuenca Grijalva-Usumacinta cuenta aún con importantes ecosistemas en buen estado de conservación; sin embargo, en el análisis desarrollado como parte de este estudio se calculó una pérdida anual de alrededor de 85,000 ha de bosque. De continuar las tendencias actuales, la cobertura forestal podría disminuir del 72% que se tenía registrado en el 2010 a un 46% para 2039. Además, el 50% de la cobertura forestal correspondía a bosque primario en 1993, pero en 2007 éste representaba apenas el 38%, lo que habla de una degradación forestal significativa.

En Chiapas, la pobreza, que afecta a prácticamente el 75% de la población, y el alto nivel de marginación implican una situación de alta vulnerabilidad social. El cambio climático significa una amenaza a las actividades agrícolas, con impactos en la productividad, como es el caso del maíz. Más del 40% de la población depende del sector primario (comparado con 13% a nivel nacional), en muchos casos no tecnificado, y viviendo de cultivos de subsistencia en comunidades rurales dispersas. Esto genera riesgos en la seguridad alimentaria que se deben atender. Chiapas enfrenta algunos de los retos más complejos del desarrollo en México; los escenarios de cambio climático y sus impactos indican que estos retos serán exacerbados en el futuro debido a la variabilidad climática.

Tanto el principio precautorio, como las recientes afectaciones por eventos climáticos extremos en la región, subrayan la importancia de evitar cualquier demora en la instrumentación de acciones frente al cambio climático. El análisis realizado en este estudio sobre los escenarios de precipitación, indica una posible intensificación de los eventos extremos. Aun cuando debe reconocerse que existe gran incertidumbre acerca del grado de intensificación de los fenómenos extremos para la región y a nivel global, el riesgo de que se repita un evento de magnitud similar las inundaciones de Tabasco en 2007 y 2010, o el impacto del huracán Stan en Chiapas en 2005, es un llamado a la acción y a la responsabilidad en la toma de decisiones públicas en la región.

Más aún, el que la región ya padezca los impactos de los eventos climáticos extremos, además de enfrentar algunos de los retos más significativos del país en términos de lucha contra la pobreza y marginación, implica que pueden llevarse a cabo acciones para reducir su vulnerabilidad con un efecto positivo, incluso en el caso de que los impactos del cambio climático fueran menores a los anticipados por los escenarios actuales.

El estudio realizado muestra que cada una de las regiones consideradas como unidad de análisis presenta vulnerabilidades propias, consecuencia de las actividades económicas, por su tipo de infraestructura, población, entre otras variables. El Cuadro 11.1 resume los principales resultados del análisis de vulnerabilidad e impacto de los eventos climáticos extremos en la cuenca.

El tamaño de la cuenca, la complejidad de sus retos y la existencia de recursos limitados para atender la problemática asociada al cambio climático requirieron de la identificación de áreas prioritarias de acción, de una escala menor de la regionalización inicial del estudio. En este contexto, se seleccionaron cinco áreas prioritarias con base a los siguientes criterios: 1) atención a población más vulnerable ante el cambio climático; 2) infraestructura estratégica con alta exposición a riesgos climáticos; 3) ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante el cambio climático; 4) existencia de actividades económicas altamente vulnerables a los riesgos climáticos; y 5) factibilidad política y social que permita la implementación de medidas y su sostenibilidad en el tiempo.

Aún cuando existen ya algunos instrumentos legales e institucionales que podrían contribuir al desarrollo de una adaptación planeada en la región, como es el caso de la Ley General de Cambio Climático, es fundamental lograr una articulación de los diferentes esfuerzos gubernamentales en la región, así como fortalecer capacidades, particularmente a nivel municipal, para atender los factores de vulnerabilidad. La identificación de áreas prioritarias van en ese camino, al identificar zonas en las que varios municipios, los gobiernos estatales de Chiapas y Tabasco, y la federación pueden colaborar y coordinarse para implementar acciones de adaptación.

Cuadro 11.1. Cuenca Grijalva-Usumacinta: vulnerabilidad e impacto, eventos climáticos extremos.

Región	Vulnerabilidades	Población afectada 2000 – 2010	Amenazas eventos climáticos declarados desastres por CENAPRED	Eventos climáticos CNA	Efectos esperados por cambio climático		
					Seguridad alimentaria	Sectores económicos vulnerables	Infraestructura en riesgo
Alto Grijalva	Ganadería Producción de maíz y café.	17,859,915	Ciclones tropicales (1) Tormentas (3) Fuentes vientos (6) Lluvias (27) Inundaciones (2) Sequías (3)	Ciclones tropicales (5) Lluvias (33)	Descenso en la productividad de café en un 7.08% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 4.67% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$1,224,597 miles de pesos.	Microempresas. Comercio.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal.
Bajo Grijalva	Producción de crudo y gas Infraestructura Ganadería Producción de maíz y café	17,350,566	Ciclones tropicales (1) Fuentes vientos (1) Lluvias (18) Inundaciones (2) Sequías (2)	Ciclones tropicales (1) Fuentes vientos (2) Lluvias (24) Inundaciones (1)	Descenso en la productividad de café en un 28.55% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 11.41% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$1,928,583 miles de pesos.	Microempresas. Comercio. Actividades de Manufactura. Servicios. Petróleo y gas. Línea de costa.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Infraestructura para la explotación de crudo y gas. Educativa en todos los niveles.
Bajo Usumacinta	Infraestructura Ganadería Producción de maíz	2,662,705	Lluvias (6) Inundaciones (1) Sequías (1)	Ciclones tropicales (3) Lluvias (9) Inundaciones (2) Sequías (1)	Descenso en la productividad de maíz en un 8.92% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$1,503,551 miles de pesos.		Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Educativa en todos los niveles.
Lacantún-Chixoy	Ganadería Producción de maíz y café	6,655,128	Lluvias (4) Fuentes vientos (2)	Ciclones tropicales (4) Fuentes vientos (3) Lluvias (8) Inundaciones (1)	Descenso en la productividad de café en un 6.97% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 2.61% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$854,162 miles de pesos.		Red de carreteras: municipal, estatal y federal..
Rios de la Sierra	Ganadería. Producción maíz y café.	6,949,656	Fuentes vientos (2) Lluvias (10) Inundaciones (1)	Fuentes vientos (2) Lluvias (10) Inundaciones (2)	Descenso en la productividad de café en un 12.21% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 11.71% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$842,103 miles de pesos.	Microempresas. Comercio Servicios	Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Educativa en todos los niveles.
Tulijáh-Chilapa	Producción de crudo y gas Infraestructura Ganadería Producción de maíz y café	3,324,212	Lluvias (5) Inundaciones (1) Sequías (1)	Ciclones tropicales (4) Fuentes vientos (1) Lluvias (7) Inundaciones(2) Sequía (1)	Descenso en la productividad de café en un 13.19% debido a un evento climático extremo. Descenso en la productividad de maíz en un 8.22% debido a un evento climático extremo. Ganado bovino afectado por un evento climático extremo \$120,328 miles de pesos.	Microempresas. Comercio. Actividades de Manufactura. Servicios. Petróleo y gas.	Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Infraestructura para la explotación de crudo y gas., Manejo de residuos. Plantas de tratamiento aguas residuales. Educativa en todos los niveles.

Existen importantes experiencias en México que generan información relevante sobre el posible marco institucional para el PAOM. Éstas incluyen la alianza tri-estatal para el cambio climático en la Península de Yucatán, la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila, los programas instrumentados por la CONABIO para armonizar políticas agropecuarias y de biodiversidad en el territorio, así como la gestión de cuencas bajo el liderazgo de la CONAGUA. La relevancia de cada uno de estos mecanismos en el contexto del PAOM estará dado por la problemática específica de cada área prioritaria. Por ello, se sugiere establecer un convenio de colaboración entre estados y federación para la región, que a su vez permita integrar otros mecanismos anidados.

El segundo volumen concerniente a la elaboración del PAOM integra estudios de prefactibilidad de opciones de intervención para cada área de atención prioritaria. El perfil de proyecto describe los mecanismos de ejecución y coordinación necesarios para poder implementarlo, incluyendo aspectos fundamentales para crear y/o fortalecer las capacidades institucionales de los principales ejecutores. Para esto, es requisito indispensable establecer una arquitectura institucional global para asegurar la coherencia y consistencia de las diferentes intervenciones y, con ello, una atención con enfoque integral de cuenca. La instrumentación de las 13 opciones de intervenciones (agrupados en siete programas), presentados en el volumen 2, resultaría en una reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.



Referencias

REFERENCIAS

- Abraham, Ernesto, 2009. Uso racional del agua en México: entre la eficiencia y la institucionalidad. UNAM, México. Tesis de Doctorado, Facultad de Economía.
- Adger, N., 2006. Vulnerability, *Global Environmental Change*. 16, 268-81.
- AMBIO, 2011. Aplicando programas de reducción de emisiones por deforestación y degradación: costos de oportunidad en actividades productivas en la Reserva de la Biosfera Selva del Ocote chiapas. USAID, Mexico.
- Amezcu, Israel, Carreón, G., Marquez, J. Vidal, R.M., Burgués, I., Cordero, S. y Reid J., 2007. Tenosique: análisis económico-ambiental de un proyecto hidroeléctrico en el Río Usumacinta. Conservation Strategy Fund. Serie Técnica, No. 10.
- Arriaga Cabrera, L., 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. 1ª edición, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 609 p.
- Beck, M., Claassen, A., y Hundt, P.J., 2012. Environmental and livelihood impacts of dams: common lessons across development gradients that challenge sustainability. *International Journal of River Basin Management*.
- Berubé, M., 2007. Cumulative effects assessment at Hydro-Québec: what have we learned? *Impact Assessment and Project Appraisal*, 25:2, pp. 101-109.
- BID, TNC, Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, 2012. Fondos de agua. Conservando la infraestructura verde. Guía de diseño, creación y operación.
- Boer, E. P J Kirsten M de Beursl y A Dewi Hartkampz. Kriging and thin plate splines for mapping climate variables *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 3, No. 2. (2001), pp. 146-154
- Boletín Iniciativa para el Desarrollo Ambiental y Sustentable localizado en: www.iniciativasustentable.com.mx/boletin_x/30_boletin_ideas.pdf
- Brooks, N., 2003. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research, 38 (Working Paper).
- Brooks, N., *et al.*, 2011. Tracking adaptation and measuring development. Working paper No. 1. London: IIED. Disponible en: <http://environmentportal.in/files/file/tracking%20adaptation.pdf>
- Bucknam, R. C., J. A. Coe, M. M. Chavarria, J. W., *et al.*, 2001. Landslides Triggered by hurricane Mitch in Guatemala: inventory and discussion. USGS Open File Report, p. 01-443.4
- Caballero, W., Giraldo, R., Mateu, J., 2013. A universal kriging approach for spatial functional data. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 27, 1553–1563.
- Caire, G., 2004. “Retos para la gestión ambiental de la Cuenca Lerma Chapala: Obstáculos Institucionales para la Introducción del Manejo Integral de Cuencas”. En: Cotler, H. (Comp.). *El manejo integral de cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México. Secretaría de Medio Ambiente-Instituto Nacional de Ecología.
- CDI, 2010. Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en: INEGI Censo General de Población y Vivienda. México.
- CDI, 2012. Idicadores y estadísticas. http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&view=category&id=38&Itemid=54
- CENAPRED, 2012: Centro Nacional de Prevención de Desastres Impacto socioeconómico de los desastres en México. Secretaría de Gobernación, 2012, No. 12.

- CEMDA. La nueva Ley General de Cambio Climático. El primer paso de una política climática integral en México. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://issuu.com/ricardoruizsparza/docs/la.nueva.ley.de.cambio.climatico?mode=window>
- CentroGeo, 2010a. “La Región del Usumacinta en México desde la perspectiva de la gestión del agua”. En: Propuesta para una gestión territorial integrada de la cuenca Usumacinta en México. (Segundo informe en acuerdo por prestación de servicios profesionales -modificado- entre el Programa de Competitividad México de USAID y CentroGeo MEXICO COMP PROJECT GBTI 2:24270).
- CentroGeo, 2010b. La Región Usumacinta en México: Características y especificaciones de la agenda común para el desarrollo de la Región. Proyecto FORDECYT 2010-143289. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: www.geowebrum.org/0contenidos/estudios/informes/P5_agenda_regional.pdf
- CEPAL, 2007. Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4”. CEPAL, Secretaría de Gobernación, 2007.
- CEPAL, 2012, Impacto socioeconómico de las inundaciones registradas en el estado de Tabasco de Septiembre a Noviembre de 2011.
- CFE, 2010. Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2010-2024. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20pacifico%20norte/1sesion_ot/pre_sector_electrico_2010_2024.pdf
- CFE, 2011. Informe Anual. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercaDeCFE/SiteAssets/Paginas/Publicaciones/Informel2011.pdf
- CFE, 2012a. Información de las fichas técnicas de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos.
- CFE, 2012b. Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) 2012-2026.
- CFE. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: www.cfe.gob.mx.
- Challenger, 2012. Presentación dada para los trabajos de Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones (INECC, 2012).
- Chambers, R., 1982. Health, agriculture, and rural poverty: why seasons matter. IDS Discussion Paper 148, Brighton: IDS.
- CIAT, 2012. Escenarios del Impacto del Clima Futuro en Áreas de Cultivo de Café en México. Informe Final Cali, Colombia y Managua, Nicaragua: Marzo, 2012.
- CICC, 2009. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/programas/Documents/PECC_DOI.pdf
- CNA, 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. México, D.F.
- Coe, M. T., *et al.*, 2011. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. Springer Science + Business Media B. V. February 11, 2011.
- Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo que establece el procedimiento de recepción y los criterios de aceptación de proyectos ambientales de la H. Cámara de Diputados. LXII Legislatura, México, D.F.
- CONABIO, 1988. Uso de suelo y vegetación de INEGI agrupado por CONABIO. Escala 1:1'000,000. Modificado de: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) - Instituto Nacional de Ecología (INE), (1996). Uso del suelo y vegetación, escala 1:1'000,000. México.
- CONABIO, 1995. Edafología. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México.

- CONABIO, 2008. Capital natural de México, Tercera parte: Evolución y perspectivas de las políticas ambientales y sus instrumentos. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20III/III05_Instrumentos%20territoriales%20y%20economicos%20que%20favorece.pdf
- CONABIO, 2012. Desarrollo territorial sustentable: programa especial de gestión en zonas de alta biodiversidad.
- CONACYT. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: www.conacyt.mx
- CONAFOR, 2012. Estrategia Nacional para REDD+ (borrador). Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.cemss.org.mx/descargas/Estrategia_Nacional_para_REDD_borrador_noviembre_2012.pdf
- CONAFOR, 2013. Proyecto de reglas de operación del Programa Nacional Forestal 2013. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5290963&fecha=08/03/2013
- CONAGUA, 2003. Comisión Nacional del Agua, Agenda del Agua. Disponible en www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Temas/AgendadelAgua2030.pdf
- CONAGUA, 2008. Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030, Frontera Sur. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/OCLSP07/NotaP/FINALaaResumenEjecutivo.pdf>
- CONAGUA, 2010. Cuencas hidrológicas con su disponibilidad media anual de aguas superficiales. Comisión nacional del Agua. Subdirección General Técnica. México D.F.
- CONAGUA, 2011. Agenda del Agua 2030. Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030. Frontera Sur. México.
- CONANP, 2011. Estrategia de cambio climático para Áreas Protegidas. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/eccap_2011.pdf
- CONANP. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: www.conanp.gob.mx.
- CONAPO, 2005. “La desigualdad en la distribución del ingreso monetario en México”. México: Consejo Nacional de Población. 248 p. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/La_desigualdad_en_la_distribucion_del_ingreso_monetario_en_Mexico.
- CONAPO, 2010. Indicadores. Consejo Nacional de Población. Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/2010>. Última consulta: marzo, 2013.
- CONEVAL, 2010. Informe de Pobreza en México. El país, los estados y sus municipios 2010. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. México, D.F.
- CONEVAL, 2012. “Medición de la Pobreza. Anexo Estadístico de Pobreza en México. Anexo Estadístico 2012”. Disponible en: <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Pobreza%202012/Anexo-estad%C3%ADstico-pobreza-2012.aspx>
- Córdova J.R. y I. Rodríguez-Iturbe. El ciclo hidrológico y su significación ecológica. Capítulo 2 del Libro El Agua en Venezuela. Publicado por La Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela. (en prensa).
- Cortinas de Nava, C., 2010. Responsabilidad ciudadana respecto de la emisión de Gases con Efecto de Invernadero (GEI) asociada al manejo de residuos. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: www.cristinacortinas.net.
- Costanza, Robert, Ralph d’Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farberk, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O’Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Suttonk & Marjan van den Belt, 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. Nature, VOL 387, 15 MAY 1997.
- Cotler H., Blasco C., Hernández R., González I., Herrerías G., Illsley C., Pineda R. y Román T., 2009. Algunos Factores de éxito para el manejo integral de cuencas en México. Con el apoyo de la Alianza Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.

- Cotler H., Garrido A., Bunge V., y Cuevas, M. L., 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. En: Cotler H. (Coord.). Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. México. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cotler, H. (Coord.), 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. México. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte. México D.F. 231 p.
- Cotler, H. y Pineda, R., 2008. Manejo integral de cuencas en México ¿Hacia dónde vamos? Boletín del Archivo Histórico del Agua. 39:16-21.
- Cuevas, M. L., Garrido, A., Pérez-Damián, J. L. y González. D. L., 2010. “Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural”. En: Cotler H. (Coord.). Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. México. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cutter, S., Boruff, B. J. y Shirley, W. L., 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards, Social Science Quarterly, 84 (2).
- Dasgupta P., y Ray, D., 1987. Inequality as a Determinant of Malnutrition and Unemployment: Policy. The Economic Journal, Vol. 97, No. 385 pp. 177-188.
- Dawson, T., Jackson, S., House, J., Prentice, I. y Mace, G., 2011. Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing. Climate Science. 332:53-58.
- De la Maza J. y Carabias, J. (eds.), 2011. Usumacinta: bases para una política de sustentabilidad ambiental. México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Natura y Ecosistemas Mexicanos A. C. p. 252.
- Delicado, P., Giraldo, R., Mateu, J., 2008. Point-wise Kriging for Spatial Prediction of Functional Data, in: Functional and Operatorial Statistics, Contributions to Statistics. Physica-Verlag HD, pp. 135–141.
- Derecho Humano Al Agua (Primera Parte), Mario Peña Chacón, Revista Derecho Ambiental y Ecología, Centro de Estudios Jurídicos Ambientales, Número 46, Diciembre 2011-Enero 2012. Pg. 7, México, D.F.
- Deschenes, O. y Greenstone, M., 2006. The Economic Impacts of Climate Change:Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations in Weather. Center for the Study of Energy Markets Working Paper 158.
- Dirección General de Regulación Minera. Subdirección de Medio Ambiente, 2013.
- DOF, 2013a. Decreto por el que se establece el sistema nacional para la cruzada contra el hambre. Diario Oficial de la Federación. Publicado 22-01-2013. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285363&fecha=22/01/2013
- DOF 08-03-2013, tercera sección. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.shcp.gob.mx/lashcp/marcojuridico/MarcoJuridicoGlobal/Otros/338_otros_moshcp.pdf
- DOF 21-01-2013, primera sección. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/dof/2013/ene/DOF_21ene13.pdf
- DOF 22-02-2013, primera sección. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/dof/2013/feb/DOF_22feb13.pdf
- DOF 25-02-2013, tercera sección. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.sedesol.gob.mx/work/models/NORMATECA/Normateca/Reglas_Operacion/2013/rop_abasto_rural.pdf
- DOF 28-02-2013, octava, novena, décima y décimo segunda sección. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.anec.org.mx/zona-anec/diario-oficial-de-la-federacion>
- Dourojeanni, A. C., 2004. Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer? En: Cotler, H. (Comp.). El manejo integral de cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. México. Secretaría de Medio Ambiente-Instituto Nacional de Ecología.

- Downing, T., Ringius, L., Hulme, M. y Waughray, D., 1997. Adapting to climate change in Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2:19-44.
- Dudley, N., Stolton, S., Belokurov, À., Krueger, L., Lopoukhine, N., MacKinnon, K., Sandwith, T. y Sekhran N., 2009. *Soluciones Naturales: Las áreas protegidas ayudan a las personas a enfrentar el cambio climático*. Washington DC y Nueva York, EE.UU. Ed. El Banco Mundial y WWF.
- Duque, R. y A. Barrios, 1988. *Modelo de simulación hidrológica a nivel mensual*. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. CIDIAT, Mérida. Venezuela.
- Duque, R., 1985. *Desarrollo de un modelo de simulación hidrológica a escala mensual*. Trabajo de ascenso para optar a la categoría de Profesor Asociado. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. CIDIAT, Mérida. Venezuela.
- Eakin, H., 2005. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from central Mexico. *World Development* 33.11, 1923-1938.
- ENCC, 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. Gobierno de la República. México.
- Estado de Tabasco, 2011. *Tabasco, Impacto socioeconómico de las inundaciones registradas en el estado de Tabasco de septiembre a noviembre de 2011*. Secretaría de Planeación y Desarrollo Social del Estado de Tabasco N.U., CEPAL, Sede Subregional en México CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres).
- FAO, 1995. *Forest Resources Assessment 1990. Global Synthesis*. FAO. ROMA
- FAO, 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, Italia.
- FAO, 2010a. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe Nacional México*, 5-28. Roma, Italia.
- FAO, 2010b. *The Global Forest Resources Assessment (2010)*. Gobierno Federal, México. 2007. *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*.
- Farías Hernández, Urbano, 1993. *Derecho Mexicano de Aguas Nacionales*, Porrúa, México.
- FIRCO-SAGARPA. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: www.firco.gob.mx/Paginas/default.aspx.
- FRA, 2010. "Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010 - Términos y Definiciones". Roma: Departamento Forestal Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/am665s/am665s00.pdf>.
- Gama-Campillo, L. M., C. Villanueva-García, E. Macías-Valdez, E. J. Moguel-Ordoñez y B. Benítez-Pérez, 2008. *Inundaciones y lluvias extremas en Tabasco*. UJAT Semana de Divulgación y Video Científico
- Gamez, R., 2008. Biodiversidad, educación y una nueva ética ambiental. *Revista posgrado y sociedad*. 8(1):1-20.
- Garmendia Cedillo, Xóchitl, *Aguas Nacionales, Una propuesta de Reforma Constitucional*, localizado en www.tfjfa.gob.mx/invesitgaciones/pdf
- Gates, W. Lawrence, 1992. AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 1962-1970. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1992\)073<1962:ATAMIP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1992)073<1962:ATAMIP>2.0.CO;2)
- Gay C., Estrada, F., *et al.*, 2006. Potential impacts of climate change on agriculture: a case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. UNAM.
- Gay, G. C., 2000. *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Ed. US Country Studies Program.
- GEF (2009) *Operational Guide for the Application of the Incremental Cost Principle*. GEF.
- Giorgi, F. y Mearns, L., 2002. Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the Reliability Ensemble Averaging (REA) method. *J. Climate*. Vol. 15, p. 1141-1158.

- Gobierno del estado de Chiapas, 2013. Plan Estatal de Desarrollo. Chiapas 2013-2018. Secretaría de Planeación, Gestión Pública y Programa de Gobierno. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Mayo de 2013.
- Gobierno de México, 2013a. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. SEMARNAT.
- Gobierno de México, 2013b. Anexo Metodológico del Diagnóstico de Adaptación: Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. SEMARNAT.
- Gobierno del estado de Tabasco, 2012. Proyecto de Presupuesto General de Egresos, Ejercicio 2012. Disponible en: http://www.congresotabasco.gob.mx/LX/trabajo_legislativo/pdfs/decretos/anexos-decreto-181/2.-%20ente-publico.PDF
- Gobierno del estado de Tabasco, 2013. Plan Estatal de Desarrollo. Tabasco 2013-2018.
- Gobierno Federal, 2006. México 2030. Proyecto de gran visión. Eje 2: economía competitiva y generadora de empleos. Tema: Energía. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.vision2030.gob.mx/pdf/15analisis/ECYGDE_INFRAESTRUCTURA.pdf
- Gobierno Federal, 2007a. Plan Nacional de Desarrollo. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/>
- Gobierno Federal, 2007b. Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.infraestructura.gob.mx/pdf/ProgramaNacionalInfraestructura2007-2012.pdf>
- Goncen, M. E., 2011. Planeación territorial, Presentación Centro Geo. Documento interno.
- González Villarreal Fernando, Ortega Gil Guillermo Enrique, Fuentes Mariles Guadalupe Esther y Carrillo Sosa Juan Javier, 2009. “Evaluación de la Vulnerabilidad del Sistema de Presas del Río Grijalva ante los Impactos del Cambio Climático”. Informe Final, Clave INE/A1-027/2009. Instituto Nacional de Ecología e Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/ine_a1-027_2009.pdf.
- Granados Solís A. y Zamora Castro M.V., 2012. Impactos del Cambio Climático y la Gestión del Modelo Alternativo de Economía Verde en América Central” Fundación Friedrich Ebert en Costa Rica.
- Grupo Permanente de Trabajo del Programa de Empleo Temporal, 2012. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.sedesol.gob.mx/work/models/NORMATECA/Normateca/1_Menu_Principal/2_Normas/3_Historico/2012/LEO_SEDESOL_PET_12.pdf
- Guiteras, R., 2009. The Impact of Climate Change on Indian Agriculture, Mimeo. (under revision for resubmission to Journal of Development Economics).
- Hassan A., R.; R. Mendelsohn, y J. Benhin EarthScan, 2008. ClimateChange and Agriculture in Africa: Impact Assessment and Adaptation Strategies, Dinar, London.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. y Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics. 4:1–24.
- IDEAM-PNUD, 2007. Reflexiones sobre el Clima Futuro y sus Implicaciones en el Desarrollo Humano en Colombia. Bogotá. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Social.
- IMCO, 2011. Programa Especial de Cambio Climático para el periodo 2012-2020 con acciones adicionales y análisis de potencial. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: [http://imco.org.mx/images/pdf/PNUMA_\(documento\).pdf](http://imco.org.mx/images/pdf/PNUMA_(documento).pdf)
- IMTA, 2010. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. CONAGUA. Ciudad de México. México, DF.

- INCMN, 2003. Cambios en la situación nutricional de México de 1990 a 2000 a través de un Índice de Riesgo Nutricional por Municipio, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, Sociedad Latinoamericana De Nutrición. México.
- INE, 2000. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, p. 220.
- INE, 2008. Evaluación de la vulnerabilidad de los estados del sureste de México ante lluvias extremas debidas a la variabilidad y el cambio climático: Tabasco, estudio de caso. SEMARNAT.
- INECC, 2012. Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México
- INECC, 2013. Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- INECC-GGGI, 2013. Marco Conceptual de Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, The Global Green Growth Institute.
- INEGI, 1976. Carta de uso del suelo y vegetación Serie I. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda 2010, Principales resultados por localidad (ITER). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- INEGI, 2011. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2005-2009. Consulta en línea en http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/regionales/pib/2005_2009_seg/PIBE2009.pdf
- INE-SEMARNAT, 2006. México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México, Environmental Protection Agency, Global Environment Facility, México DF.
- IPCC, 2001. Technical Summary Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Intergovernmental Panel on Climate Change).
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Suiza. <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>
- Iracheta, C. A. Planeación regional en México. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: <http://iglom.iteso.mx/HTML/encuentros/congresol/pm5/iracheta.html>
- Kaiser, M. J., 2008. The impact of extreme weather on offshore production in the Gulf of Mexico. Applied Mathematical Modelling. 32, pp.
- Kibler y Tullos, 2013. Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China. Water Resources Research 49(6), pp 3104-3118.
- Kolb, M. y Galicia, L., 2012. Challenging the linear forestation narrative in the Neo-tropic: regional patterns and processes of deforestation and regeneration in southern Mexico. The Geographical Journal. 178(2):147-161.

- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R., 2008. Crop switching as an adaptation strategy to climate change. *African Journal Agriculture and Resource Economics*, 2: 105–126.
- LAN, Ley de Aguas Nacionales. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/ desarrolloRural/Publicaciones/Paginas/LeyDesarrolloRuralSustentable.aspx>
- Ley General de Asentamientos Humanos. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/133.pdf>
- Ley General de Cambio Climático. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/444/cap4.html>
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/1280188.html>
- Lineamientos del Programa Especial para la Conservación, Restauración y Aprovechamiento Sustentable de la Selva Lacandona en el estado de Chiapas. Comisión Nacional Forestal, Juan Manuel Torres Rojo, Director General, 10 de agosto de 2011, Zapopan, Jalisco.
- Lineamientos del Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en el estado de Tabasco. Comisión Nacional Forestal, Juan Manuel Torres Rojo, Director General, 27 de octubre de 2011, Zapopan, Jalisco.
- Listado de Proyectos aprobados ANEXO 30, Presupuesto de Egresos de la Federación 2013, Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la H. Cámara de Diputados. LXII Legislatura, México, D.F.
- Manual de Programación-Presupuestación, 2010. Secretaría de Planeación, Gobierno del estado de Tabasco, México.
- MARN-URL/IARNA-PNUMA, 2009. Informe Ambiental del Estado-GEO Guatemala 2009. Guatemala. 286p.
- Martínez, E., T. Torres y F. Ríos, 2009, Tabasco, voces de una inundación prolongada, recuento de la tragedia tabasqueña. Codehuta (comité de derechos humanos de Tabasco) A. C. 77 p.
- Medina, B. Y., 2007. Deslizamientos e impactos ambientales de los huracanes Mitch y Stan, en Guatemala. Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil.
- Meehl, G. A., *et al.*, 2000. The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 313-318.
- Mendelsohn R., Dinar A., 2000. Efficient adaptation to climate change. *Climate Change*, No. 45, 2000, pp. 583-600
- Mendelsohn, R., Dinar, A., y Sanghi, A., 2001. The effect of development on the climate sensitivity of agriculture, *Environment and Development Economics*. 6, 85–101.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., y Shaw, D., 1994. The impact of global warming on agriculture: A ricardian análisis. *American Economic Review* 84, pp. 753–771.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., y Shaw, D., 1996, Climate impacts on aggregate farm values: Accounting for adaptation, *Agriculture and Forest Meteorology*. 80, pp. 55–67.
- Méndez-Barrera, A., 2007. Planteamiento para la formulación de un programa de conservación y manejo regional para siete áreas naturales protegidas de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Monografías SEA 3er. Milenio*. 6: 89-96.

- Mendoza Sammet, A., 2008. Cumulative effects in Mexico: legislation and practice. Paper presented during the 2008 Annual Conference of the International Association for Impact Assessment. Disponible en: http://www.iaia.org/iaia08calgary/documents/IAIA-CE_MendozaAngeles_CE_in_Mexico_Updated.pdf
- Montero, M.J., y Pérez. J.L., 2008. Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. En: P. Martínez y A. Aguilar (eds.), Efectos del cambio climático en los recursos Hídricos de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, p. 11-21.
- Moser, S. y Ekstrom, J. A., 2010. A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. PNAS, 107 (51), 22026-31.
- Moss, R. *et al.*, 2008a. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Moss, R.. *et al.*, 2008b. Exploración de nuevos escenarios para el análisis de las emisiones, del cambio climático, de sus impactos y de las estrategias de respuesta. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.
- Muhammad Ibrahim, Raúl Velásquez-Vélez, Danilo Pezo, Christina Skarpe, Jairo Mora, Tamara Benjamín (2009) Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas seminaturales en Muy Muy, Nicaragua, Agroforestería en las Américas N°47
- Muñoz-Arriola, F., Salgado-Rabadán, J. H., Rocchiccioli, M., Shrraddnnand, H., Güitrón-De los Reyes, S. y Lobato-Sánchez, R., 2011. Hidrología superficial en la cuenca del río Grijalva: calibración del modelo hidrológico de capacidad de infiltración variable (VIC). Aqua-LAC 3(1):68-80
- Murgueitio E., 2009. Incentivos para los Sistemas Silvopastoriles en América Latina. Revista Avances en Investigación Agropecuaria, 1 (13), 2009).
- Nakicenovic, N. *et al*, 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp.
- NASA, 2010. Shuttle Radar Topography Mission. Disponible en: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>
- Nicholls R. J., Wong P. P., Burkett, V. R., *et al*, 2007. “Coastal systems and low-lying áreas”. En O. F. Canziani, M. L. Parry, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C.E. Hanson (ed.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press Cambridge, UK.
- O’Brien, K. y Leichenko, R., 2000. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization, Global Environmental Change, 10, 221-32.
- O’Brien, K. y R. Leichenko, 2006. Climate Change, Equity and Human Security. Die Erde 137(3): 223-240.
- OECD, 2009, OECD Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation (Paris: OECD). Publishing.doi: 10.1787/9789264088320-es
- OECD, 2010. Recent OECD work on Adaptation to Climate Change. Paris.
- OECD, 2011. Towards Green Growth: Monitoring Progress, OECD Indicators. OECD, Paris.
- OECD, 2013. Making Water Reform Happen in Mexico. OECD Studies on Water, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264187894-en>
- OEIDRUS, 2010. Estadística básica. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.oeidrus-chiapas.gob.mx/>.
- Olivera-Villarreal, S. M., 2012. “La productividad del maíz de temporal en México: repercusiones del cambio climático”. EUROCLIMA – CEPAL.
- ONU, Organización de Naciones Unidas, <http://www.un.org.es>

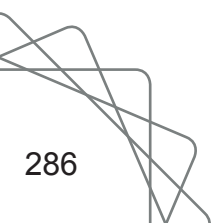
- Otros Mundos Chiapas, 2012. La Actividad Minera en Chiapas. Un Recuento del 2000 al 2012. Disponible en http://www.otrosmundoschiapas.org/docs/escaramujo/escaramujo738_actividad_minera_chiapas.pdf
- Ostrom, E., 2009. A polycentric approach for coping with climate change. World Bank Policy Research Working Paper Series, Vol.
- Pagiola S., Ríos A. R., Arcenas A., 2009. Poor household participation in payments for environmental services: Lessons from the silvopastoral project in Quindío, Colombia. World Bank. MPRA Paper No. 4794. Washington D.C.: World Bank.
- Pagiola, Stefano, 2009. Desafíos y Oportunidades para el desarrollo de Pagos por Servicios Ambientales en el Sector Ganadero, World Bank, <http://www.cipav.org.co/pdf/red%20de%20agroforesteria/seminarios%20y%20congresos/Panama2010/Pagiola.pdf>
- Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., y Foley, J.A., 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature*. 2005 Nov 17; 438(7066):310-7.
- PCMDI, Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, 2013. Disponible en: <http://www-pcmdi.llnl.gov/>
- PEACC Tabasco, 2012:
- PEMEX, 2012a. Cartera multianual de proyectos 2013-2027 Pemex Gas. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.pemex.com/files/content/120730_cartera_multianual_proyectos.pdf
- PEMEX, 2012b. Informe de Responsabilidad Social 2011. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.pemex.com/files/content/irs_2011.pdf
- PEMEX, 2012c. Plan de negocios 2013-2017. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.pemex.com/files/content/pn_13-17_121107.pdf
- PEMEX, 2012d. Programa Estratégico Tecnológico 2013-2027. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.pemex.com/files/content/pet_2013-2027_121113.pdf
- PEMEX, 2013. Anuario estadístico de PEMEX
- PNUMA, 2011. Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. UNEP, Nairobi.
- Presentación del Proyecto de Adaptación al Cambio Climático en el estado de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Gobierno del estado de Tabasco, 23 de mayo de 2011, Tabasco, México.
- Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas. Disponible en www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Manual/APAZU.pdf
- Puyravaud, J.P., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*. 177: 593-596
- Quiroga Martínez, R., 2007. Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. Serie manuales. CEPAL. Santiago de Chile.
- Räisänen, J. y Palmer, T.N., 2001. A probability and decision-model analysis of a multi-model ensemble of climate change simulations, *Journal of Climate*, 14, 3212-3226
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAN.pdf
- Reglamento de la Ley de Desarrollo Rural sustentable. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LDRS_MOIRSSE.pdf
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. y Belmonte Serrato, F., 1998. Erosión y escorrentía en el Campo Experimental de «El Ardal» (Murcia). *Nueve años de experiencias. Papeles de Geografía*, 27: 129-144.

- Ruiz de la Fuente, J. M., S. E. Temich-Méndez, J., Castillo, G., López, E., Martínez y G., Gordillo, 2011. A los años mil, el agua vuelve a su carril. Estudio sobre los Factores de riesgo de desastre por inundaciones en el municipio de Comalcalco, Tabasco. Ed. Talleres Gráficos del Comité de Derechos Humanos de Comalcalco A.C.
- SAGARPA, 2007. Programa sectorial de desarrollo agropecuario y pesquero 2007-2012. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/transparencia/pot2008/XV-inf/Programa-Sectorial2007-2012.pdf>
- Sánchez, C., Sandoval, J., Montiel, A., Hernández, E., Bonilla, O. y Villa, H., 1988. “Propuesta de establecimiento y manejo de una reserva de la biosfera en los pantanos de Centla, Tabasco, México”. En: Ecología y conservación del Delta de los ríos Usumacinta y Grijalva, Memorias. INIREB-División Regional Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco.
- Sanghi, A., Mendelsohn, R., y Dinar, A., 1998. The climate sensitivity of Indian agriculture. In Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture, chapter 4, pages 69.139. World Bank.
- Secretaría de Economía, 2013. Áreas Naturales Protegidas y Minería. Presentación hecha durante el Taller de Intercambio de Experiencias, CAMIMEX, 28 de junio de 2013.
- SEDESOL, 2012. Listado de municipios prioritarios en la Cruzada Nacional contra el Hambre.
- SEDESOL. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: www.sedesol.gob.mx
- SEMARNAT, 2002. Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2001-2006. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/pnmarn.pdf>
- SEMARNAT, 2009. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. Diario Oficial de la Federación. Viernes 28 de agosto de 2009.
- SEMARNAT, 2011. Estrategia de Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/ECCAP%202011%20FINAL.pdf
- SEMARNAT (2012) Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental Informe sobre la descentralización y de servicios forestales y de suelo, SEMARNAT.
- SEMARNAT, 2012. Programa Anual de Trabajo (Versión ejecutiva). Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/programas/pat/Paginas/PAT2012.aspx>
- SEMARNAT. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: www.saladeprensa.semarnat.gob.mx.
- SEMARNAT-CONAFOR, 2010. Visión de México sobre REDD+: hacia una estrategia nacional. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/1393Visi%C3%B3n%20de%20M%C3%A9xico%20sobre%20REDD_.pdf
- SEMARNAT-CONAGUA, 2009. Atlas del Agua en México.
- SEMARNAT-CONAGUA, 2011a. Atlas del Agua en México 2011. Última consulta: marzo, 2013. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGP-18-11.pdf>
- SEMARNAT-CONAGUA, 2011b. Plan Hídrico Integral de Tabasco. Documento de trabajo.
- SEMARNAT-INECC, 2013. Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: <http://www2.inec.gob.mx/publicaciones/download/683.pdf>
- SENER, 2007. Programa Sectorial de Energía 2007-2012. Última consulta: febrero, 2013. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/portal/programa_sectorial_de_energia_2007-2012.html
- SENER, 2012. Prospectiva de Energías Renovables, 2012-2026. Secretaría de Energía.

- SENER, 2013, Estrategia Nacional de Energía 2013-2027.
- Seo, S., Niggol Dinar, A. y Kurukulasuriya Pradeep, A., 2008. Ricardian Analysis of the Distribution of Climate Change Impacts on Agriculture Across Agro-Ecological Zones in Africa. World Bank Policy Research Working Paper No. 4599.
- SERNAPAM, 2007. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Área Naturales Protegidas de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco
- SERNAPAM, 2012. “Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático Estado de Tabasco”. México: Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano, 2011. Panorama Minero del Estado de Chiapas. Servicio Geológico Mexicano.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano, 2012. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2011, Versión 2012.
- SIAP, 2012: SIAP: <http://www.siap.gob.mx/>
- SINHAMBRE, 2013. Cruzada Nacional contra el Hambre. Disponible en: <http://sinhambre.gob.mx/#en-la-cruzada> (sección México SINHAMBRE).
- Simard, M., Pinto, N., Fisher, J. y Baccini, A., 2011. Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. *Journal of Geophysical Research*. VOL. 116, G04021, 12 PP., 2011, doi:10.1029/2011JG001708
- Tamayo, J., 1949. Geografía general de México. Tomos I y II. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. Tucson, Arizona University, Department of Systems and Industrial Engineering. México. Ed. Trillas
- Tebaldi, C. y Knutti, R., 2007. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. doi:10.1098/rsta.2007.2076.
- The World Bank, 2008. Reshaping Economic Geography. World Development Report 2009. World Bank, Washington, D.C.
- Toledo, A., 2003. Ríos, costas, mares: Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. México. INE-Semarnat.
- Townsend P.A, Serbin S.P, Kruger E.L y Gamon J.A., 2013. Disentangling the contribution of biological and physical properties of leaves and canopies in imaging spectroscopy data. *Proc Natl Acad Sci USA*, 10.1073/pnas.1300952110.
- University of British Columbia Faculty of Law, 2009. Independent Power Production, Run-of-River Small Hydro and the Pitt River Cluster.
- Vázquez-Navarrete, C.J.,E.E. Mata-Zayas, y D.J. Palma-López, 2010. “Valoración Económica de los Servicios Ambientales de los Humedales de la Chontalpa, Tabasco: Un Enfoque Exploratorio a Nivel Local”, Vulnerabilidad de las Zonas Costeras Mexicanas ante el Cambio Climático, Centro Epomex, UAC, Vol. 1, 2010, 14p.
- West, R., Suty, N. P. y Thom, B. G., 1976. Las Tierras bajas de Tabasco en el Sureste de México. México. Gobierno del Estado de Tabasco.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. y Davis, I., 2004. At Risk: Natural hazards, people’s vulnerability and disasters. 2a edición. Routledge, London.
- WMO, 2007. World Meteorological Organization. Disponible en https://www.wmo.int/pages/index_es.html
- Wong–González, P. Ordenamiento ecológico y ordenamiento territorial: Retos para la gestión del desarrollo regional sustentable en el siglo XXI. *Estudios Sociales*. 17:11-39.

World Bank, 2012. Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development. World Bank, Washington, D.C.

World Commission on Dams, 2000. Dams and Development. A New Framework for Decision-Making. Earthscan.





Anexos

