

Plan de Adaptación, Ordenamiento y
Manejo integral de las cuencas de los
ríos Grijalva y Usumacinta (PAOM)

Diagnóstico integrado con identificación de áreas prioritarias

*Programa de adaptación a las
consecuencias de cambio climático en la
provisión de servicios de las cuencas*

Versión Síntesis



Banco Interamericano de Desarrollo

Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo integral de
las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta (PAOM)

Diagnóstico integrado con identificación de áreas prioritarias

VERSIÓN SÍNTESIS



Banco Interamericano de Desarrollo
2014

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Banco Interamericano de Desarrollo

PAOM: Diagnostico integrado con identificación de áreas prioritarias. Versión Síntesis.

p. cm. – (Monografía del BID; 207)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Climatic changes—Mexico. 2. Environmental economics—Mexico.

I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. II. Título. III. Serie.

IDB-MG-207

Palabras clave: Cambio Climático, Modelos Climáticos , Mexico

Clasificación JEL: Q54, O54.

<http://www.iadb.org>

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

Copyright ©2014 Banco Interamericano de Desarrollo. Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.



Elaborado por: Abt Associates Inc.

4550 Montgomery Avenue Suite 800 North / Bethesda, MD 2081

Foto de portada: Jan Harenburg

Tabla de Contenidos

Prologo	1
Introducción.....	2
Objetivos y alcances del estudio	4
Metodología	5
Propuesta de regionalización.....	6
Características socioeconómicas.....	7
Caracterización biofísica.....	9
Escenarios de cambio climático.....	13
Impactos del cambio climático en la hidrología superficial y en la economía de la región.....	16
Análisis de vulnerabilidad.....	21
Áreas de atención prioritaria	23
Bibliografía.....	27

Siglas, abreviaturas y acrónimos

ANP	Área Natural Protegida
AR	<i>Assessment Report</i>
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CCA-UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México
CDI	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CICESE	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CMIP	Proyecto de Inter-Comparación de Modelos Acoplados
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FONDEN	Fondo de Desastres Naturales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GGGI	<i>Global Green Growth Institute</i>
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IES	Índices de Escurrimiento Superficial
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LGCC	Ley General de Cambio Climático
MCG	Modelos de Circulación Global
PAOM	Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo
PDF	<i>Probability Distribution Functions</i>
PEACC	Programa Estatal de Adaptación al Cambio Climático
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIB	Producto Interno Bruto
PND	Plan Nacional de Desarrollo
RCP	Vías de Concentración Representativas
REA	<i>Reliability Ensemble Averaging</i>
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SINHAMBRE	Sistema Nacional para la Cruzada Contra el Hambre
SMN	Sistema Meteorológico Nacional

Prologo

La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta es considerada como una región de alta vulnerabilidad y altos riesgos climáticos y se ubica en la frontera colindante de México y Guatemala. En territorio mexicano, esencialmente se encuentra en los estados de Chiapas y Tabasco. Dicha región es afectada con frecuencia 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.

Además, la cuenca es una región que concentra recursos con un potencial significativo para contribuir al desarrollo sustentable de México. Debido a sus altos índices de biodiversidad, a la riqueza de servicios ambientales que ofrece, a sus importantes recursos hídricos y su gran diversidad cultural, la región es considerada una zona estratégica. Además, esta cuenca 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. Sin embargo, la región enfrenta retos significativos. Más del 66% de los 116 municipios que se encuentran dentro de la cuenca presentan un grado de marginación alto o muy alto. Además, la ubicación de los municipios con mayor marginación coincide de manera importante con las áreas de más alta presencia indígena de la región.

Reconociendo los retos y la importancia de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en apoyo al Gobierno de México, contribuyó con la preparación del estudio titulado “Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM-Grijalva) de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta”, cuyo objetivo fue identificar medidas que incorporaran una clara visión de adaptación al cambio climático y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes.

El estudio tuvo tres metas principales: 1) proveer instrumentos de planificación, tales como una ruta estratégica y bases para la implementación del plan; 2) dar recomendaciones de carácter institucional y de gobernabilidad para el manejo de la cuenca y la ejecución de las tareas prioritarias previstas en el plan; y 3) identificar acciones estratégicas y críticas que complementen el impacto de obras de infraestructura hídrica, promoviendo la protección y el manejo sustentable de los ecosistemas.

El estudio se originó con una solicitud de apoyo conjunto entre la SEMARNAT, el INECC y la CONAGUA, y fue concebido como un proceso participativo, en el cual se consultaron a más de 200 personas. Durante la preparación del estudio se sostuvieron reuniones, entrevistas y talleres con actores gubernamentales a niveles federal y estatal, representantes del sector académico, y organizaciones de la sociedad civil que trabajan en la región, lo cual generó importantes insumos y retroalimentación para el estudio. Con los resultados de este estudio, el BID espera contribuir en los esfuerzos de México para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social, de la infraestructura estratégica y sistemas productivos, y de los ecosistemas ante los efectos del cambio climático.

El estudio fue coordinado por la División de Cambio Climático y Sostenibilidad (INE/CCS), bajo el liderazgo de Walter Vergara. El equipo, integrado por Alfred Grunwaldt, David Wilk, Gmelina Ramírez, María Eugenia de la Peña, Alejandro Deeb y Jorge Hinojosa, desea reconocer las importantes contribuciones de todos los participantes en el proceso de elaboración del estudio, y agradece a Abt Associates Inc. por su compromiso y profesionalismo en el desarrollo del estudio.

Introducción

La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta es considerada 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, considerado como uno de los deltas más vulnerables ante el posible aumento del nivel del mar, consecuencia del cambio climático (Nicholls et al., 2007; INE-SEMARNAT, 2006). Dicha región es afectada con frecuencia 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 es una región que concentra recursos con un potencial significativo para contribuir al desarrollo sustentable de México. Se trata de un gran sistema hidrológico constituido por el río Usumacinta (el más caudaloso de México) 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 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 región enfrenta retos significativos. Más del 66% de los 116 municipios que se encuentran dentro de la cuenca 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 más alta presencia indígena de la región.

Los retos de desarrollo de la zona podrían incrementarse como consecuencia del cambio climático. El diagnóstico del PAOM analiza los posibles impactos y vulnerabilidad de la cuenca Grijalva-Usumacinta, con base en los escenarios de cambio climático del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Tales impactos incluirían:

Seguridad alimentaria. La disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura derivados del cambio climático resultarían en una pérdida de la productividad para el maíz de hasta el 11.41% y para el café de hasta 28.55%. Estas condiciones pondrían en riesgo la seguridad alimentaria de más de 45 mil familias que viven del autoconsumo y en condiciones de marginación.

Aumento en el nivel del mar. Se prevé una pérdida de entre el 5 y el 8% del territorio de Tabasco por este fenómeno, el cual tendría un costo anual estimado en 1,500 millones de pesos al año por pérdida de servicios ambientales, recursos naturales productivos y ecosistemas en la zona costera¹.

Eventos climáticos extremos. Durante el periodo del 2000-2010, los fenómenos hidrometeorológicos extremos causaron más de 6,500 millones de pesos al año por daños en el sector agropecuario y en la infraestructura civil². La inundación que sufrió Tabasco en el 2007 afectó al 75% de su población y tuvo un costo equivalente al 29.31% del PIB estatal. Desastres climáticos de esta magnitud podrían repetirse con mayor frecuencia como consecuencia del cambio climático y de las tendencias sociales, económicas y ambientales de la región.

Afectaciones en el sistema hidrológico. Las precipitaciones podrían reducirse en la región hasta en un 5% y los escurrimientos, hasta en 10%. Ello resultaría en una pérdida en la generación de energía hidroeléctrica. Además, los escenarios de cambio climático muestran una tendencia hacia un aumento en la probabilidad de eventos extremos de lluvias; sin embargo, no hay certidumbre sobre los cambios futuros en la frecuencia e intensidad de los huracanes.

En la sección 1 de este resumen ejecutivo se presentan los objetivos y alcances del estudio para el diseño del Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral (PAOM) de las Cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta. La sección 2 describe la metodología del diagnóstico del PAOM. La sección 3 presenta una propuesta de regionalización que fue utilizada para comprender mejor las condiciones socio-económicas y biofísicas del área, mismas que son discutidas brevemente en las secciones 4 y 5, respectivamente. La sección 6 presenta el análisis de los escenarios de cambio climático para la cuenca, considerando tanto el futuro cercano (2015-2039) como el futuro lejano (2075-2099). En la sección 7 se resumen los resultados del análisis de los impactos del cambio climático en la hidrología superficial y en la economía de la región. La sección 8 explica el análisis de vulnerabilidad que se utilizó en el marco de este estudio para identificar los municipios de la cuenca con mayor vulnerabilidad al cambio climático. La sección 9 contiene la identificación de áreas de atención prioritaria dentro de la cuenca. La sección 10 contiene las conclusiones.

¹ Estimaciones calculadas a través de datos provistos por Vázquez, *et al.* (2010) y Tapia (2010).

² La estimación no incluye daños en infraestructura petrolera, ni de carreteras y caminos.

Diagnóstico integrado con identificación de áreas prioritarias del PAOM

Objetivos y alcances del estudio

Reconociendo los retos y la importancia de la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) acordó con el Gobierno de México contribuir con la preparación del diseño del PAOM, cuyo objetivo es incorporar una clara visión de adaptación al cambio climático y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes en la cuenca.

El estudio tiene tres metas principales: 1) proveer instrumentos de planificación, tales como una ruta estratégica y bases para la implementación del plan; 2) dar recomendaciones de carácter institucional y de gobernabilidad para el manejo de la cuenca y la ejecución de las tareas prioritarias previstas en el plan; y 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.

Este documento presenta el resumen ejecutivo del *Diagnóstico Integrado con Identificación de Áreas Prioritarias (Vol. 1)*, en el que se presenta el análisis sobre la problemática del cambio climático para la cuenca y se identifican las áreas geográficas de atención prioritaria. Cabe destacar que el estudio también incluyó el desarrollo de estudios de prefactibilidad para intervenciones que permitan responder a los principales riesgos e impactos del cambio climático en la cuenca. Éstos son presentados en el volumen 2 de este estudio.

El estudio tiene un enfoque territorial centrado en la cuenca (Figura A). Para la cuenca Grijalva-Usumacinta, dicho enfoque implica un análisis a nivel regional (que comprende Chiapas y Tabasco) para entender la problemática que implica el cambio climático en términos de adaptación³ resiliencia⁴ y vulnerabilidad⁵. Este enfoque también es fundamental para la identificación de opciones de intervención que atiendan los principales retos del cambio climático, las cuales son presentadas en el volumen 2 de este estudio. El enfoque territorial de este estudio es una innovación en la política de adaptación al cambio climático en México.

³ **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 (Ley General de Cambio Climático (LGCC)).

⁴ **Resiliencia.** Capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático (LGCC).

⁵ **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 encuentran expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (LGCC).



Fuente: Adaptado de Challenger, 2012.

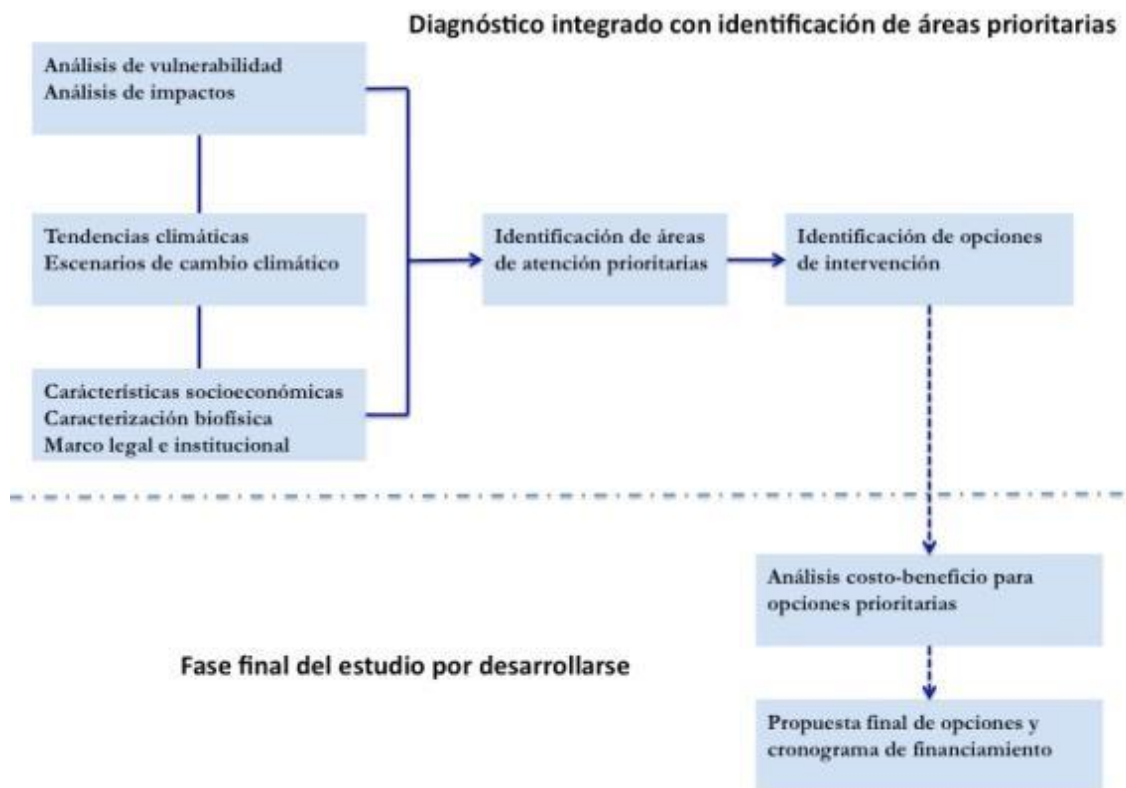
Metodología

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

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, 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.

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, que fueron compartidos por la Red Mexicana de Modelación del Clima, 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.

Figura A. Marco metodológico



Fuente: Abt Associates

Desde su inicio, el estudio fue concebido como un proceso participativo, en el cual se consultó a más de 200 personas. El equipo del estudio tuvo múltiples entrevistas y reuniones de trabajo con actores gubernamentales a nivel federal y estatal, representantes del sector académico, y organizaciones no gubernamentales (ONGs) que trabajan en la región. Asimismo, se desarrollaron ocho talleres participativos: dos con autoridades del Gobierno Federal, tres con autoridades estatales de Chiapas y Tabasco, dos con académicos de Chiapas y Tabasco, y uno con ONGs y agencias de desarrollo. Estos talleres generaron insumos y retroalimentación que permitieron enriquecer el diagnóstico final.

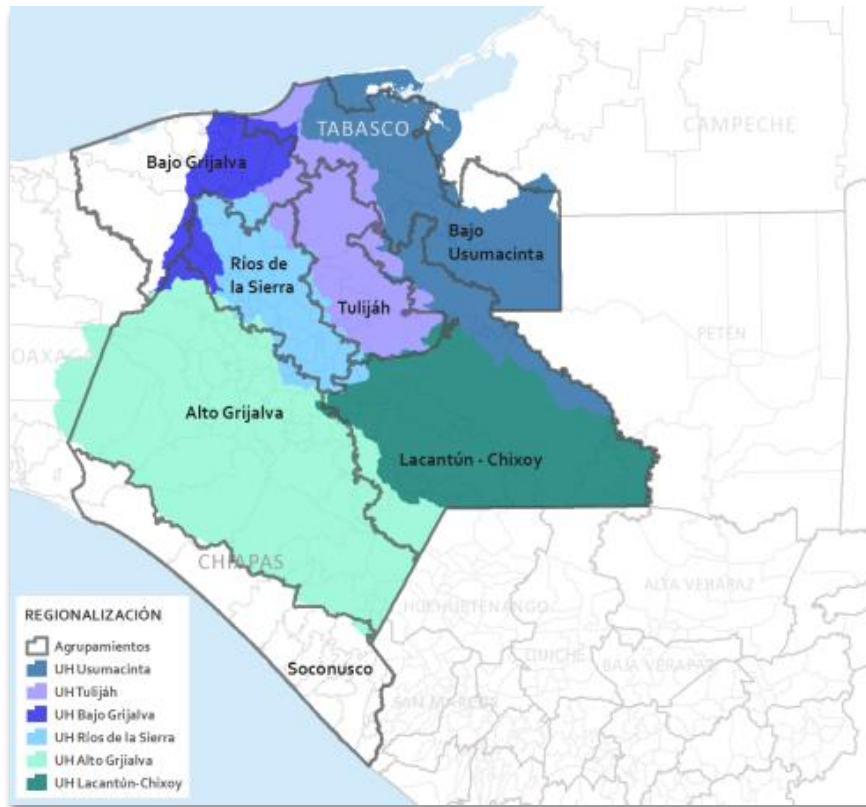
Propuesta de regionalización

El diagnóstico inició con una regionalización de la cuenca para comprender mejor las condiciones socio-económicas y biofísicas del área, así como para avanzar en la definición de las unidades de gestión del territorio y manejo adecuado de los recursos naturales.

Con esta perspectiva, y tomando en cuenta un modelo de cuenca, se establecieron seis agrupamientos que contienen 116 municipios. Cada uno de los agrupamientos corresponde a unidades hidrográficas y

fue utilizado para diferenciar a nivel espacial y político-administrativo (nivel municipal), el análisis socioeconómico, la descripción de tendencias climáticas, escenarios de cambio climático, y el análisis de impactos y vulnerabilidad (Mapa A).

Mapa A. Agrupamientos y unidades hidrográficas del Grijalva-Usumacinta



Características socioeconómicas

El análisis del contexto socioeconómico de la cuenca Grijalva-Usumacinta es fundamental para entender las condiciones que aumentan la vulnerabilidad social ante el cambio climático. Las condiciones socioeconómicas asociadas con un mayor riesgo ante el cambio climático incluyen el alto grado marginación, rezago social y desigualdad que existe en la región (Mapa B).

En el caso de Tabasco, más del 96% de la población vive en localidades situadas en una altitud de menos de 50 metros sobre el nivel del mar (msnm), incluyendo las cinco ciudades que tienen más de 30 mil habitantes: Villahermosa (354,000), Cárdenas (92,000), Comalcalco (41,000), Tenosique y Macuspana (32,000 cada una). Consecuentemente, la mayoría de la población está expuesta a fenómenos meteorológicos extremos, incluyendo las inundaciones, como lo demostraron los eventos de 2007 y 2010.

En Chiapas, la pobreza que afecta a prácticamente el 75% de la población y el alto nivel de marginación son factores que implican una situación de alta vulnerabilidad social. El cambio climático presenta una amenaza a las actividades agrícolas, con impactos en la productividad, como es el caso del maíz. Más del 40% de la población del estado depende del sector primario (comparado con 13% a nivel nacional), en muchos casos no tecnificado, y vive de cultivos de subsistencia en comunidades rurales dispersas. Esto genera riesgos de 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 por la variabilidad climática.

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 dos temas centrales. Primero, que existe una gran cantidad de comunidades rurales dispersas en el territorio, las cuales tienen menor acceso a información, vivienda de menor calidad, y en general, una menor cobertura y calidad de servicios básicos. Segundo, existe una concentración de la población urbana principalmente en las capitales, Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez, y sus alrededores. Si bien la población de estas ciudades tiene comparativamente mejores condiciones de desarrollo, existen también riesgos asociados a la gran densidad poblacional que existen en estos sitios, como lo han evidenciado las inundaciones recientes.

El Cuadro A presenta los principales datos socioeconómicos para cada subregión considerada en el estudio.

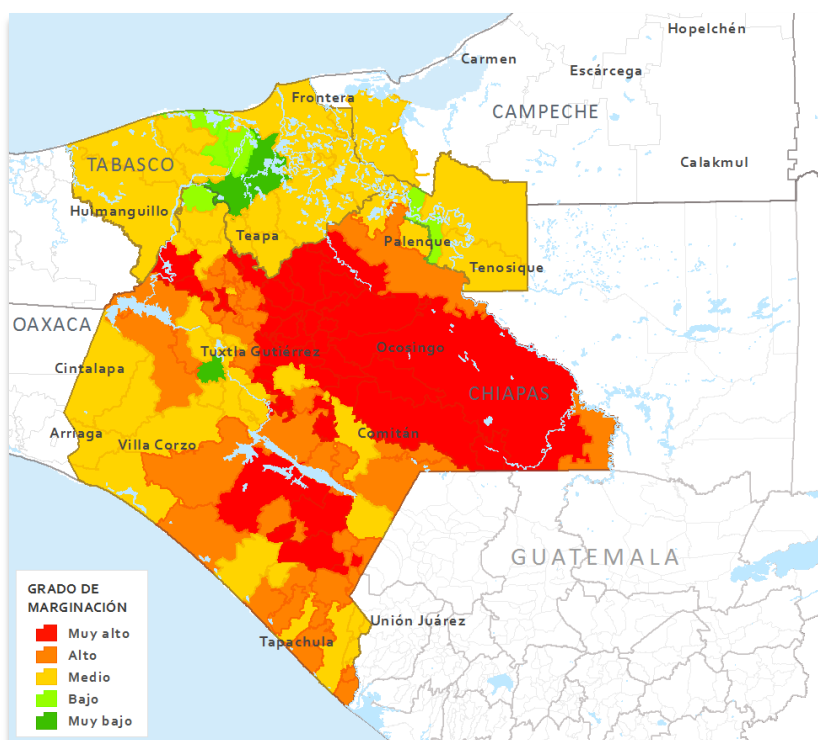
Cuadro A. Datos socioeconómicos para las agrupaciones municipales

	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%	20,128 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
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: Abt Associates con datos de CONAPO, 2005/2010; INEGI, 2010; CDI, 2012; SINHAMBRE, 2013.

Mapa B. Grado de marginación a nivel municipal



Fuente: Abt Associates con datos de CONAPO 2010.

Caracterización biofísica

El sistema Grijalva-Usumacinta comprende un área total de 85,604.3 km² y tiene un volumen anual de escurrimiento de 69,082.8hm³ que representa más del 30% de los escurrimientos totales del país. Sus rasgos geomorfológicos y climáticos, macizos centrales, cadenas montañosas y depresiones sujetas a

precipitaciones torrenciales, dan lugar al nacimiento de un dinámico sistema hidrológico cuyas corrientes se precipitan hacia el litoral, desde alturas superiores a los 4,000 msnm, acarreado ricas tierras aluviales y formando las mayores planicies costeras de la vertiente del Golfo de México.

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 algunos sitios de la Sierra de Chiapas y en la Sierra de la Lacandona, las lluvias llegan hasta los 5,000 mm al año; en la zona costera del norte, el promedio es de 2,093 mm al año. En la región existen un total de 404 cuerpos de agua, incluyendo lagos, lagunas, presas y más de 40 corrientes principales, que en conjunto suman una superficie de 804 km². Esto incluye los cuatro vasos de almacenamiento ubicados en el río Grijalva, el sistema de presas de almacenamiento más importante del país, que genera más del 40% de la capacidad hidroeléctrica instalada del país. En cuanto a aguas subterráneas, existen 19 acuíferos identificados en la región (CONAGUA 2011). Los ríos y lagunas alcanzan su máximo nivel entre septiembre y noviembre, cuando se producen las inundaciones que causan severos daños a la población y la infraestructura hidráulica. El Mapa C muestra el contexto fisiográfico de la cuenca.

Mapa C. Contexto fisiográfico de la cuenca Grijalva-Usumacinta



Fuente: Abt Associates

Existe un proceso de degradación de la vegetación y de erosión del suelo en la región. La degradación se produce cuando se altera la cubierta vegetal original sin llegar a su total remoción, permaneciendo sólo ciertas especies o comunidades vegetales, como sucede con la transformación del bosque primario (ver Cuadro B). Este proceso 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).

El análisis desarrollado como parte de este estudio calculó una tasa de deforestación anual de alrededor de 85,000 ha, lo que implica una tasa anual de 0.9%. La pérdida de bosque primario es mayor, con una tasa anual de 2.97%. 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 para 2007 éste representaba apenas el 38%, lo que habla de una degradación forestal significativa. Cotler *et al.* (2010) señalan que la cuenca Grijalva-Usumacinta tiene un grado medio de alteración de la dinámica funcional y un nivel alto de presión esperada. La deforestación y degradación de bosque se da principalmente en las zonas aledañas a las Áreas Naturales Protegidas (ANPs).

De acuerdo con la regionalización antes mencionada, el Alto Grijalva y Lacantún-Chixoy presentan las pérdidas más importantes de bosque. En las dos subregiones, 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 vegetación primaria para la introducción de ganado ha sido el factor desencadenante asociado al proceso de degradación de suelos (ver Cuadro B).

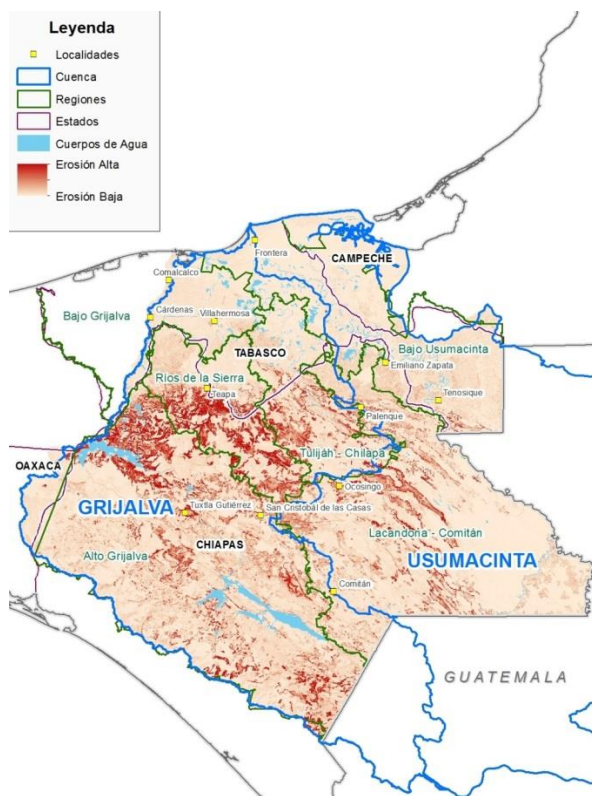
Cuadro B. Total de bosque y bosque secundario por subregión

Subregión	Serie II (1993) [ha]	Serie III (2002) [ha]	Serie IV (2007) [ha]
Alto Grijalva			
Total de bosque	1,847,5301	1,668,922	1,608,796
Bosque secundario	988,247	1,107,282	1,121,892
Bajo Grijalva			
Total de bosque	30,102	29,542	25,191
Bosque secundario	12,001	11,803	12,340
Lacantún-Chixoy			
Total de bosque	1,422,884	1,257,535	1,201,180
Bosque secundario	556,135	630,500	610,885
Usumacinta			
Total de bosque	559,024	525,143	523,110
Bosque secundario	187,657	202,212	220,484
Ríos de la Sierra			
Total de bosque	288,744	271,055	262,817
Bosque secundario	211,784	206,611	213,569
Tulijáh			
Total de bosque	297,154	288,761	270,523
Bosque secundario	207,540	222,586	217,595

Fuente: Abt Associates basado en las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación para las Serie II, III y IV del INEGI.

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.). Es sabido que la erosión de los suelos está ligada a factores naturales (clima, litología, pendiente, vegetación, etc.); sin embargo, 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). Para tener una perspectiva de los problemas de erosión en la cuenca, se desarrolló un mapa de erosión potencial, utilizando los factores más importantes que contribuyen al proceso de erosión que son: la cobertura de la tierra, pendiente del terreno basados en mapas de elevación digital tipo raster con celdas de 90m x 90m, y un factor de variabilidad de la precipitación. Como muestra el Mapa D, los principales problemas de erosión se presentan en la parte alta de la cuenca, en el Alto Grijalva y en los Ríos de la Sierra.

Mapa D. Erosión potencial en la cuenca Grijalva-Usumacinta



Fuente: Abt Associates

En la cuenca, la problemática de erosión es agravada por diversos factores que incluyen: la deforestación; el mal uso y la falta de prácticas de conservación del suelo; el desarrollo de cultivos agrícolas en laderas con pendientes altas y en suelos altamente erosionables; y la presencia de suelos

desnudos combinados con la alta intensidad de las lluvias causada por ciclones tropicales y huracanes.

Es importante notar que las acciones provocadas en las partes altas de las cuencas, como son la deforestación y erosión, provocan la sedimentación de los embalses y canales, e incrementan el riesgo de inundación en las zonas baja de la cuenca. Estos fenómenos son sumamente relevantes en el contexto del cambio climático, ya que se espera un incremento de eventos extremos con lluvias torrenciales en la zona.

Escenarios de cambio climático

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 Clima⁶, que llevó a cabo el análisis para México 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). Estos datos serán utilizados en el AR5 del IPCC (INECC, 2013). El Cuadro C muestra los tres escenarios de cambio climático analizados.

Cuadro C. 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

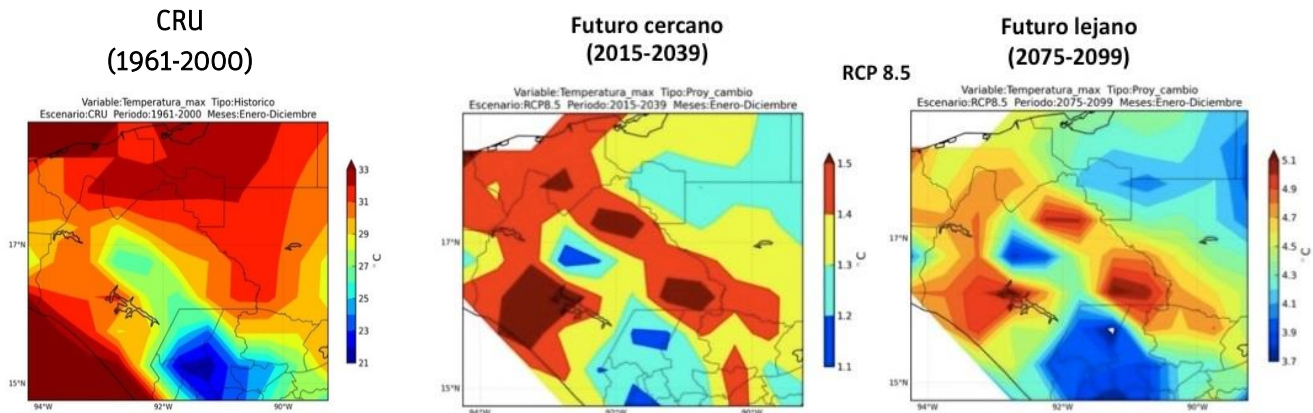
El siguiente reporte del IPCC contendrá escenarios de cambio climático basados en “Vías de Concentración Representativas” (RCP, por sus siglas en Inglés), los cuales asocian las proyecciones probables de emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera en función del tiempo con fuerzas de radiación equivalentes (W/m²). Los períodos analizados son el Histórico (1961-2000, 40 años), Futuro cercano (2015-2039, 25 años) y Futuro lejano (2075-2099, 25 años). Los escenarios tienen una resolución de 50 km x 50 km.

Temperatura

⁶ La Red está coordinada por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la 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).

En términos generales, se proyectan temperaturas más cálidas para los tres escenarios (RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5) y en los dos horizontes de tiempo. Los cambios esperados en la temperatura media para el futuro cercano (2015-2039) serán de 1°C, mientras que el incremento podría ser de hasta 5°C para el RCP 8 en el futuro lejano (2075-2099). Los cambios más drásticos en temperatura media se presentan en la sub-región Lacantún-Chixoy, cerca de la frontera con Guatemala. A continuación se presenta el análisis para temperatura máxima considerando los resultados históricos de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia (CRU, por sus siglas en inglés) y el escenario RCP 8.5.

Figura B. Resultados para temperatura máxima: CRU y RCP 8.5



Fuente: Abt Associates con datos de INECC, 2013

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 eventos extremos con ondas de calor.

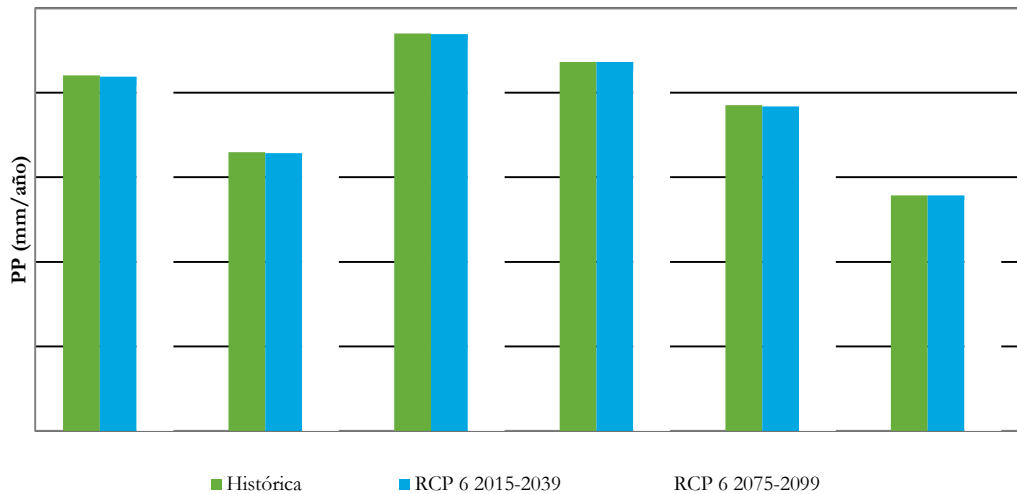
De acuerdo a un análisis estacional, se espera que la temperatura aumente en todas las estaciones y que los valores extremos de las distribuciones se incrementen en mayor grado en el futuro lejano. El mayor incremento en la temperatura media se observa en Marzo-Abril-Mayo (MAM), tanto para RCP 8.5 como para RCP 6. Por otro lado, la temperatura máxima presenta su mayor incremento en Junio-Julio-Agosto (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 Diciembre-Enero-Febrero (DJF).

Precipitación

Los resultados obtenidos bajo el escenario RCP 4.5-futuro cercano para todas las regiones de la cuenca muestran una caída en la precipitación de entre 1.2% y 1.9% con respecto a los datos históricos. Para el futuro lejano, la disminución es un poco más pronunciada, siendo ésta de entre 2.1% y 3.1%. Bajo el escenario RCP 6-futuro cercano, hay caídas de entre 0.0% y 0.36%. Para este mismo escenario, pero en el futuro lejano, hay decrementos de precipitación de entre 1.9% y 2.8%.

Por último, el escenario RCP 8.5 muestra, en el futuro cercano, decrementos de 1.3% en los Ríos de la Sierra y 2.1% en Lacantún-Chixoy; para el futuro lejano, se esperan decrementos más marcados, alrededor de 4.5% para cada región, llegando hasta un 5% con respecto al dato histórico.

Figura C. Cambios de precipitación bajo el escenario RCP 6 por región



Fuente: Abt Associates

Como parte de este estudio, se realizó un análisis de las funciones de distribución de probabilidad para precipitación por estación. El análisis muestra que los mayores valores extremos en incremento de precipitación bajo el escenario RCP 6⁷ se darán durante los meses de invierno (DJF) y primavera (MAM). En comparación, los mayores decrementos bajo RCP 8.5 son observados durante los meses de invierno (DJF) y verano (JJA).

En el caso de primavera (MAM), también se observa que los cambios (tanto positivos como negativos) en el futuro lejano serán mayores que en el futuro cercano. El hecho de que existan extremos más grandes en el futuro lejano puede indicar que ocurrirían eventos extremos más intensos en esos meses. Para verano (JJA) y otoño (SON), se observan mayores extremos en el futuro lejano que en el futuro cercano. Mientras que los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 muestran probabilidades sesgadas a decrementos, el RCP 6 muestra incrementos en JJA. En SON, el escenario RCP 8.5 muestra extremos positivos, a pesar de que tiene mayor probabilidad de decrementos de alrededor de -1.2 mm/d, al igual que el RCP 6.

⁷ El comportamiento del RCP 6 para el invierno es diferente a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para futuro cercano, ya que existen cambios positivos con respecto a la climatología 1961-2000 y existe una mayor probabilidad de que ocurran decrementos entre 0 y -0.4 mm/d.

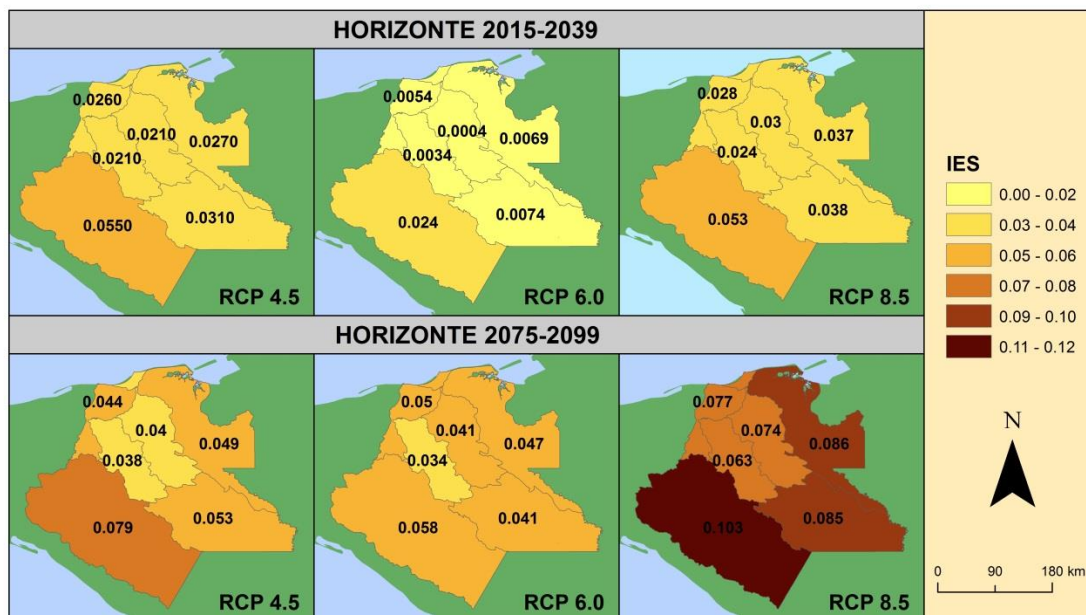
La presencia de incrementos en los extremos de las *Probability Distribution Functions* (PDF) puede indicar indirectamente la ocurrencia de eventos extremos con mayor intensidad tanto de lluvias torrenciales como de sequía.

Impactos del cambio climático en la hidrología superficial y en la economía de la región

En la región Grijalva-Usumacinta existen grandes variaciones geográficas en el relieve que influyen en el clima local, pero que los MCG son incapaces de resolver. De esta manera, todos aquellos procesos de convección forzada que producen intensas precipitaciones, por ejemplo los huracanes, están ausentes de la física explícita usada en estos modelos.

Los cálculos del escurrimiento se realizaron considerando la NOM-011 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y considerando los resultados de los MCG. El Mapa E muestra los Índices de Escurrimiento Superficial (IES) correspondientes para los horizontes de tiempo y escenarios de cambio climático. El Cuadro D resume los resultados del estudio hidrológico para el futuro cercano (2015-2039); los decrementos proyectados para los escenarios RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5 son 3.2, 0.9 y 3.6%, respectivamente. El Cuadro E presenta los resultados para el futuro lejano (2075-2099), en los que se espera que las reducciones en escurrimiento sean del orden del 5.2, 4.5 y 8.3%, respectivamente.

Mapa E. Índices de escurrimiento superficial (IES)



Fuente: Abt Associates

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

Sub-cuenca	Área	Condiciones históricas		RCP 4.5		RCP 6		RCP 8.50	
	[km ²]	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	2,071	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	10,841.0 2	2,322	10,613.41	2,346	10,803.9 8	2,319	10,584.9 9
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	13,050.9 4	1,898	12,694.14	1,920	12,961.03	1,888	12,574.33
Grijalva ²	31,112.4	1,393	14,080.4 4	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	66,899.6 4	1,748	68,481.4 7	1,720	66,576.9 3

NOTAS: ¹ PP = precipitación

² Incluye las siguientes sub-cuencas: La Angostura, Peñitas, Chicoasén y Netzahualcóyotl

Fuente: Abt Associates

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

Sub-cuenca	Área	Condiciones históricas		RCP 4.5		RCP 6		RCP 8.50	
	[km ²]	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	13,114.7 5	1,567	12,510.6 3
De La Sierra	7,305.7	2,350	10,841.02	2,301	10,433.98	2,305	10,471.4 5	2,266	10,154.1 0
Chilapa	9,576.6	2,181	11,669.19	2,133	11,199.72	2,133	11,193.9 8	2,090	10,799. 89
Usumacinta	16,093.0	1,925	13,050.94	1,874	12,416.15	1,876	12,435.5 2	1,833	11,931.2 5
Grijalva ²	31,112.4	1,393	14,080.44	1,347	12,966.68	1,365	13,270.5 3	1,327	12,634.7 4
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 sub-cuencas: La Angostura, Peñitas, Chicoasén y Netzahualcóyotl

Fuente: Abt Associates

Los decrementos que se esperan en el escurrimiento anual como consecuencia del cambio climático que son presentados en este estudio son menores que los obtenidos en ejercicios anteriores (IMTA, 2010), por lo que se requiere profundizar en la incertidumbre existente. La posible disminución de escurrimientos, aun siendo comparativamente menor, podría llevar a una reducción en la generación de energía hidroeléctrica. En el futuro lejano, bajo el escenario RCP 8.5, la generación de energía en cada una de las presas sería el siguiente porcentaje respecto al escenario base: Malpaso, 78.5%; La Angostura, 80%; Chicoasén, 83.7%; y Peñitas, 86%.

Asimismo, la posibilidad de eventos climáticos extremos (lluvias torrenciales y huracanes) debe ser un tema central en el ordenamiento del territorio, en la prevención de emergencias y en el manejo de las presas para proteger las zonas urbanas en la cuenca baja, como Villahermosa, que están altamente expuestas ante posibles desastres por inundaciones.

El estudio de los impactos económicos y sociales del cambio climático partió del análisis del impacto de los eventos climáticos extremos en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Se hizo un análisis detallado de los impactos históricos en la cuenca y los impactos relacionados con el evento climático extremo que causó las inundaciones en Tabasco en 2007, lo que permitió estimar un rango de los daños máximos que se podrían esperar ante el paso de un evento climático extremo de igual índole en la región. Asimismo, se desarrollaron estudios de caso de los impactos en agricultura para los principales cultivos como son maíz, frijol y café en Chiapas y Tabasco. La selección de estos cultivos y de los sistemas agrosilvopastoriles para el análisis se debió a la importancia del cultivo del maíz y del frijol para las economías de autoconsumo, considerando que las poblaciones indígenas incluyen estos cultivos en su acervo cultural. Los casos del café y de la producción ganadera se incorporaron por su importancia estratégica para la conservación y manejo de la frontera agrícola en Chiapas y Tabasco. Finalmente, se hizo el análisis de los impactos económicos relacionados el aumento del nivel mar para la zona costera de Tabasco.

La cuenca Grijalva-Usumacinta está altamente expuesta a eventos climáticos extremos debido a su ubicación geográfica y características biofísicas. En Chiapas, para el periodo 2000-2010, el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) registró 167 eventos climáticos extremos; en Tabasco, el SMN registró un total de 130 eventos climáticos durante 2003-2010. El total de personas afectadas y de daños y pérdidas asociados para el periodo 2000-2010 para estos eventos climáticos fue de 2,903,880 habitantes y alrededor de 75 mil millones de pesos (mmdp). El número de afectados tenderá a incrementarse por dos razones principales: 1) el efecto del cambio climático, e 2) incrementos en la población de los polos de desarrollo en Chiapas y Tabasco.

El Cuadro F presenta un resumen de los principales resultados del estudio para cada subregión de interés. El Cuadro G muestra los resultados para el caso de estudio del maíz.

Cuadro F. Impactos, daños y vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos

Región	Vulnerabilidad	Población total afectada 2000 - 2010	Amenazas y eventos climáticos declarados desastres por CENAPRED	Eventos climáticos CONAGUA	Seguridad alimentaria	Sectores económicos vulnerables	Infraestructura en riesgo
Alto Grijalva					Por un evento climático extremo, la productividad descende: - 7.08% en el café - 4.67% en el maíz. - \$1,224,597 miles de pesos en el ganado bovino.	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 Tropical (1) Fuentes Vientos (2) Lluvias (24) Inundaciones (1)	Por un evento climático extremo, la productividad descende: - 28.55% en el café. - 11.41% en el maíz. - \$1,928,583 en ganado bovino.	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 de 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)	Por un evento climático extremo, la productividad descende: - 8.92% en el maíz. - \$1,503,551 ganado bovino.		Red de carreteras: municipal, estatal y federal. Manejo de residuos. Plantas de tratamiento de 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)	Por un evento climático extremo, la productividad descende: - 6.97% en el café. - 2.61% en el maíz. - \$854,162 en ganado bovino.		Red de carreteras: Municipal, Estatal y Federal.
Ríos 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)	Por un evento climático extremo, la productividad descende: - 12.21% en el café. - 11.71% en el maíz. - \$842,103 en ganado bovino.	Microempresas. Comercio Servicios	Red de carreteras: Municipal, Estatal y Federal. Manejo de Residuos. Plantas de Tratamiento Aguas Residuales. Educativa en todos los niveles.
Tulijáh	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)	Por un evento climático extremo, la productividad descende: - 13.19% en el café. - 8.22% en el maíz. - \$120,328 en ganado bovino.	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.

Fuente: Estimaciones elaboradas por Abt Associates con datos propios y de CENAPRED

Cuadro G. Pérdida de productividad anual, pérdidas económicas por año y familias afectadas por cambio climático

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 2075-2098			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: Abt Associate

De acuerdo a los datos históricos, las regiones que presentaron un mayor número de eventos climáticos extremos fueron: Alto Grijalva (73); Bajo Grijalva (67), Ríos de la Sierra (34); Bajo Usumacinta (30); Lacandona-Chixoy (18); y Tulijáh (8).

El análisis realizado respecto a la seguridad alimentaria concluyó que la productividad del maíz caerá en cada una de las regiones de la siguiente manera: 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%.

En el caso de la producción de café, las regiones con mayor caída en la productividad son Bajo Grijalva (28.55%) y Tulijáh (13.19%). Dependiendo de la magnitud del fenómeno, puede incluso condicionarse la permanencia de la población en el área, obligando a los más pobres a migrar a otras regiones.

Derivado del análisis anterior, este estudio concluye que la mayor vulnerabilidad en el Grijalva-Usumacinta se encuentra en las regiones del Bajo Grijalva, Alto Grijalva y Ríos de la Sierra. El total de eventos climáticos en estas regiones fue de 174, afectando alrededor de 144 mil personas por año en el periodo de estudio. Los resultados del estudio señalan el gran riesgo que podría generar el cambio climático en materia de seguridad alimentaria: más de 45 mil familias podrían carecer de alimentos cada año por la caída en la producción bruta de granos básicos en estas tres regiones. En el caso de los impactos en la producción de café, las pérdidas estimadas para estas tres regiones alcanzarían alrededor de 40 millones de pesos anuales. Respecto a la vulnerabilidad de la pastura en el ganado bovino, el impacto potencial de las tres regiones asciende casi 4 mil millones de pesos.

Asimismo, merece particular atención en el largo plazo la zona costera, ya que se estima que se perderá entre 5 y 8% del territorio de línea de costa de Tabasco (INECC, 2012; Vázquez, *et al.*, 2010; Gama, *et al.*, 2011; PEACC Tabasco, 2012). Vázquez *et al.* (2010) y Tapia (2010) estiman 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 y se resultaría en pérdidas anuales de 124,296,679 USD⁸, si no se realizan medidas de adaptación. Estos cálculos no consideran las posibles pérdidas en productividad de los sistemas de pozos petroleros de la región, y las posibles pérdidas en infraestructura de ductos, sistemas portuarios, poblaciones y carreteras existentes en la zona.

Análisis de vulnerabilidad

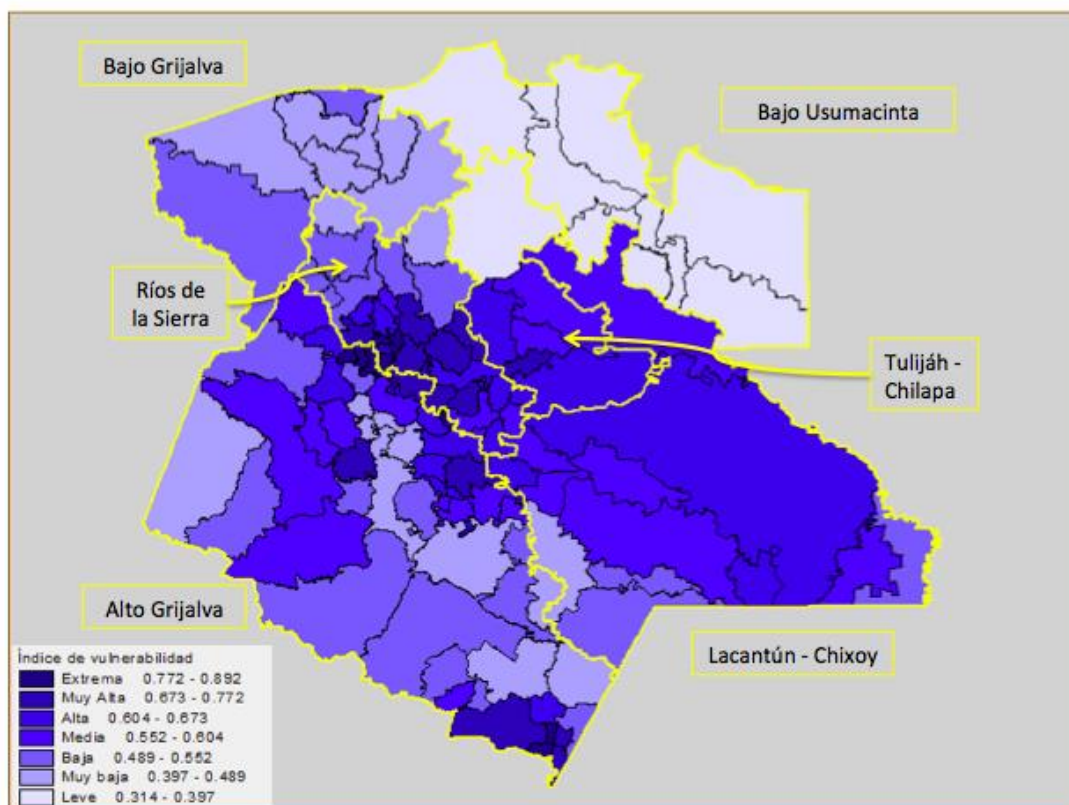
Existen muchos municipios en la cuenca Grijalva-Usumacinta que tienen una alta vulnerabilidad y enfrentan altos riesgos de ocurrencia de eventos climáticos extremos como sequías agrícolas, disminución de rendimientos agrícolas por altas temperaturas, sequías pecuarias, transmisión de enfermedades, ondas de calor, inundaciones y deslaves (INECC-GGI, 2013; ENCC, 2013).

⁸ Basado en un valor de 2,636 USD al año, correspondiente a la valoración de servicios ambientales, productivos y de ecosistemas en la región, tomando en cuenta la estimación promedio y la superficie afectada por Vázquez, *et al.* (2010) y Tapia (2010).

El análisis desarrollado en este estudio para identificar los municipios más vulnerables de la cuenca utilizó el marco conceptual de presión-estado-respuesta (SPR, por su siglas en inglés), basado en una serie de indicadores que pueden agregarse en tres categorías: (1) estado ambiental de la cuenca; (2) factores socioeconómicos que hacen sensible a la población ante riesgos climáticos, y (3) factores sobre la capacidad institucional municipal para responder ante riesgos climáticos. Como parte del proceso se desarrolló un taller participativo a nivel regional con autoridades estatales, 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.

De acuerdo con los resultados del índice, los municipios más vulnerables se encuentran en el estado de Chiapas. La cuenca del Alto Grijalva, principalmente en los municipios de El Porvenir, La Grandeza, Ocoatepec, 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, concentran 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 (ver Mapa F).

Mapa F. Índice de vulnerabilidad Grijalva-Usumacinta



Fuente: Abt Associates

En general, estas zonas de alta vulnerabilidad coinciden con el índice de vulnerabilidad presentado en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y en INECC-GGGI (2013)⁹. Sin embargo, los resultados de la ENCC e INECC-GGGI (2013) muestran mayor vulnerabilidad a las costas del Bajo Usumacinta que en este índice, principalmente por las sequías agrícolas y las sequías pecuarias.

Los mapas e indicadores presentan variables ambientales y socioeconómicas ponderadas en orden de relevancia por actores regionales. Dichos mapas ofrecen información relevante en la interpretación de la vulnerabilidad y su expresión a nivel municipal. Sin embargo, no existe un solo mapa o índice que pueda capturar de forma única las múltiples situaciones de vulnerabilidad que se pueden presentar frente al cambio climático, ya que la vulnerabilidad tiene una expresión local y es un proceso dinámico, tanto en el tiempo, como en el espacio. Los mapas e índices de vulnerabilidad generados para el estudio fueron una herramienta importante para el apoyo de la toma de decisiones. Estos mapas, junto con el análisis económico presentado en la sección anterior sirvieron de apoyo para la identificación de áreas de atención prioritaria que se describen en la siguiente sección.

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.

Las secciones anteriores proporcionaron información sobre la cuenca; de ellos se desprende que existan riesgos y retos importantes en toda su área. Por ello, la identificación de áreas prioritarias 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.

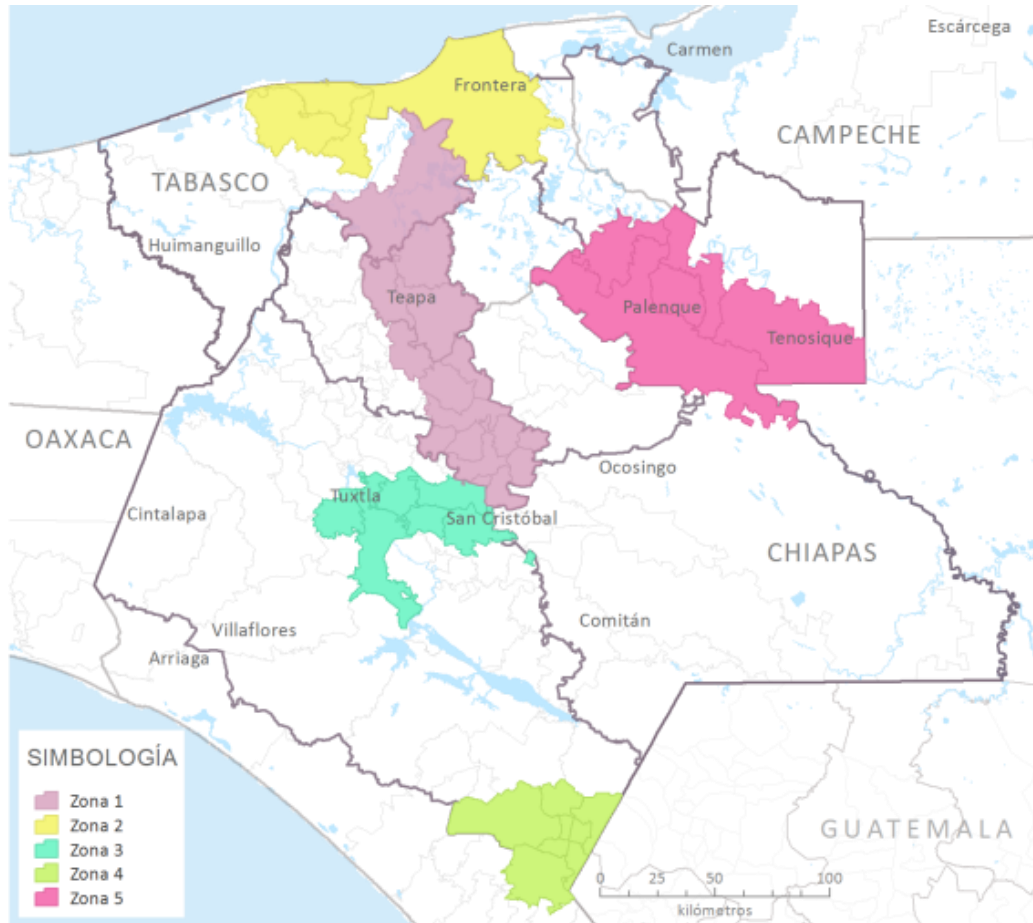
Para identificar las áreas de intervención prioritarias se consideró la distribución de personas y sistemas ubicados en cada región, a fin de evaluar las tendencias actuales que impiden un desarrollo sustentable, y que implican mayores riesgos actuales y futuros ante el cambio climático. Al mismo tiempo, la priorización requirió reconocer la interrelación y dinámica entre diferentes regiones, a fin de mantener el enfoque territorial y la visión de cuenca de este estudio.

Las áreas prioritarias fueron seleccionadas con base en los siguientes criterios: 1) atención a población más vulnerable ante el cambio climático; 2) infraestructura estratégica con alta exposición ante riesgos climáticos; 3) ecosistemas y servicios ambientales clave para aumentar la resiliencia ante

⁹ Marco Conceptual de Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad (INECC-GGGI, 2013).

el cambio climático; 4) existencia de actividades económicas altamente vulnerables ante los riesgos climáticos; y 5) factibilidad política y social que permita la implementación de medidas y su sostenibilidad en el tiempo. El Mapa G muestra las áreas de atención prioritarias propuestas por el estudio.

Mapa G. Propuesta de áreas de atención prioritaria



Fuente: Abt Associates

Conclusiones

La cuenca Grijalva –Usumacinta alberga un capital natural único que sustenta actividades económicas fundamentales para el país. Entre estas actividades destacan la producción de energía hidroeléctrica, petróleo y gas natural y crecientemente, la minería. Asimismo, las actividades primarias contribuyen a la economía y ocupan a un porcentaje de la población económicamente activa en mayor medida que en el resto del país.

Sin embargo, el aprovechamiento de estos recursos se ha hecho de una manera que no ha generado un crecimiento sustentable e incluyente. Muestra de ello son los altos índices de marginación y pobreza que existen en la región, los cuales se conjugan con grandes presiones que degradan los ecosistemas.

El trabajo realizado como parte de este estudio indica que los retos significativos de desarrollo que enfrenta la región podrían exacerbarse como consecuencia del cambio climático. De manera particular, el análisis de impactos muestra la posibilidad de que el cambio climático afecte a un número significativo de personas. Por ejemplo, con base a los escenarios utilizados en este estudio, se anticipan posibles caídas en la productividad económica, particularmente de las actividades agrícolas de las que depende un porcentaje importante de la población. Los grupos que son particularmente vulnerables a estos fenómenos incluyen a comunidades rurales aisladas que dependen de actividades primarias y de autoconsumo.

El hecho de que la región ya padece los impactos de los eventos climáticos extremos, además de que enfrenta algunos de los retos más significativos del país en términos de marginación, implica que pueden llevarse a cabo acciones para reducir la vulnerabilidad que tendrán un efecto positivo en la región, aún en el caso de que los impactos del cambio climático fueran menores a los anticipados por los escenarios actuales.

Este estudio inició con una regionalización de la cuenca, con la cual se buscó lograr un mejor entendimiento de los diferentes factores asociados con la exposición y vulnerabilidad frente a los riesgos climáticos. Con base en este primer acercamiento a la región, el estudio identificó áreas prioritarias de acción de una escala menor, las cuales permitirían focalizar de manera más eficiente recursos escasos para la atención de retos relacionados con el cambio climático. La identificación de estas zonas permitió avanzar en el diseño del PAOM, mediante el desarrollo y la socialización de opciones de intervención que responden a los posibles impactos que afectarían a cada área, las cuales son discutidas en el volumen 2 de este estudio.

Aun 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 de la región.

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 Inter-municipal del Río Ayuquila, los programas instrumentados por la CONABIO para armonizar políticas agropecuarias y de biodiversidad en el territorio y la gestión de cuencas bajo el liderazgo de la CONAGUA. La relevancia de cada uno de estos mecanismos en el contexto del PAOM dependerá de 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 de colaboración anidados.

Finalmente, la viabilidad del PAOM requerirá contar con mecanismos de financiamiento multianuales que complementen los recursos existentes, así como integrar mecanismos que fomenten la transparencia y rendición de cuentas entre los diferentes niveles de gobierno, así como la participación pública, particularmente de los grupos que podrían ser mayormente afectados por el cambio climático.

Bibliografía

ENCC, 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. Gobierno de la República. México.

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.

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.

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.

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.

PEMEX, 2013. Anuario estadístico de PEMEX.

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.

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.

