

LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA DESDE LA PERSPECTIVA DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Denise Soares y Antonino García García
Coordinadores

LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA DESDE LA PERSPECTIVA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Denise Soares
Antonino García García

Coordinadores



México, 2017

632.1 Soares, Denise (Coord.)

S82 *La cuenca del Río Usumacinta desde la perspectiva del cambio* / Denise Soares y Antonino García (coordinadores). -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017.
422 p.

ISBN 978-607-9368-80-7 (versión impresa).

ISBN 978-607-9368-81-4 (versión digital).

1. Cuencas 2. Cambio climático 3. Río Usumacinta

Coordinación editorial:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

Primera edición: 2017

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Paseo Cuauhnáhuac 8532

62550 Progreso, Jiutepec, Morelos

MÉXICO

www.imta.gob.mx

Se permite su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los editores, siempre y cuando se mencione la fuente.

Fotografía de portada:

Roberto Romero Pérez

Fotografías ilustrativas de capítulos:

Indicación de autor y contenido en pies de foto.

Diseño editorial y portada.

José Antonio González Serrano.

Impreso en México-Printed in México

ÍNDICE

Introducción	7
Antonino García García y Denise Soares	

EL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA PERSPECTIVA HIDROCLIMÁTICA

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205 ubicada en la meseta comiteca de la RH Grijalva Usumacinta, en el marco de la inestabilidad climática global	33
Martín D. Mundo Molina	

Visión climática de la precipitación en la cuenca del Río Usumacinta	57
Mercedes Andrade Velázquez	
Compiladora	

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del Río Usumacinta	77
Lorenzo Armando Aceves Navarro; Benigno Rivera Hernández, Agrícola Arrieta Rivera, José Francisco Juárez López, Jesús Manuel Méndez Adorno y Carlos Ramos Álvarez	

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del Río Usumacinta, un caso de estudio	97
Julio Sergio Santana, Martín José Montero Martínez y Efraín Mateos Farfán	

EL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA PERSPECTIVA AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

- Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35°C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del Río Usumacinta 121
Benigno Rivera Hernández, Lorenzo A. Aceves Navarro, José Francisco Juárez López, Agrícola Arrieta Rivera, Mirna Alexis Vázquez Alvaro y Felipe García Jiménez
- Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del Río Usumacinta, México 149
Rebeca González Villela y Martín José Montero Martínez
- Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social. Resumen Ejecutivo 2015 183
Mercedes Andrade Velázquez
- Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del Río Usumacinta, y su impacto en las actividades agropecuarias 205
Benigno Rivera Hernández, Lorenzo Armando Aceves Navarro, Agrícola Arrieta Rivera, José Francisco Juárez López y Antonio López Castañeda

EL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA PERSPECTIVA SOCIAL

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata: una lectura desde los activos y la estructura de oportunidades 235
Alejandra Peña García y Marta Patricia Fernández Salazar

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México 267
Alejandro Ortega Argueta, Rodimiro Ramos Reyes, Armando Hernández de la Cruz, Dora Elia Ramos Muñoz Miriam Aldasoro Maya y Alejandro Espinoza Tenorio

Apreciación social del cambio climático. Una aproximación a la población de la cuenca del Río Usumacinta 301
Denise Soares y José Antonio González

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas: prácticas productivas y capacidades adaptativas frente al cambio climático 335
Antonieta Zárate Toledo y Antonino García García

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos 363
Antonino García García, Denise Soares y Antonieta Zárate Toledo

Semblanza curricular de autores/as 417



Río Usumacinta en
Emiliano Zapata, Tabasco

Fotografía
Antonino García García

Introducción

Antonino García García y Denise Soares

La presente obra denominada *La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático* es una contribución para comprender este fenómeno con una mirada multidisciplinaria, es decir, ciencias naturales y exactas, y ciencias sociales. Los trabajos que integran el libro abordan geográficamente la cuenca denominada Usumacinta del lado mexicano, no así la parte guatemalteca debido a la poca respuesta de científicos de ese país.

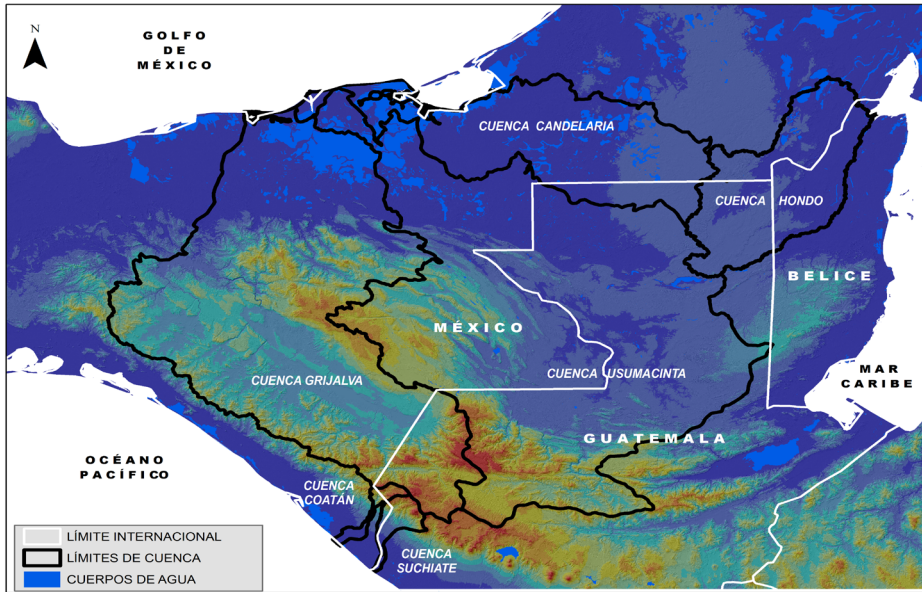
Según García (2010), la cuenca Usumacinta es parte de las seis cuencas hidrográficas compartidas entre México y Guatemala; las corrientes fluviales principales de estas cuencas atraviesan la frontera sur y drenan en territorio nacional. Las cuencas Suchiate, Coatán, Grijalva y Candelaria son binacionales (México-Guatemala); las cuencas Usumacinta y río Hondo son trinacionales (México-Guatemala-Belice).

Las seis cuencas abarcan una extensión total de 167 725 kilómetros cuadrados (km²)¹, es decir, un poco más de 1.5 veces el territorio de Guatemala, alrededor de siete veces el territorio de Belice y un poco más de dos veces el territorio de Chiapas (García 2010). Una parte de los ríos Suchiate y Usumacinta son frontera fluvial entre México y Guatemala, se comparten 77 y 383 km respectivamente; el río Hondo tiene 168 km de frontera entre México y Belice (García, 2010).

1 La superficie que abarca cada una de las cuencas en km², es la siguiente: Suchiate 1 230; Coatán 733; Grijalva 56 895; Usumacinta 73 192; Candelaria 20 816; y Hondo 14 859 (García, 2010).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Mapa 1. Las seis cuencas transfronterizas México-Guatemala-Belice.



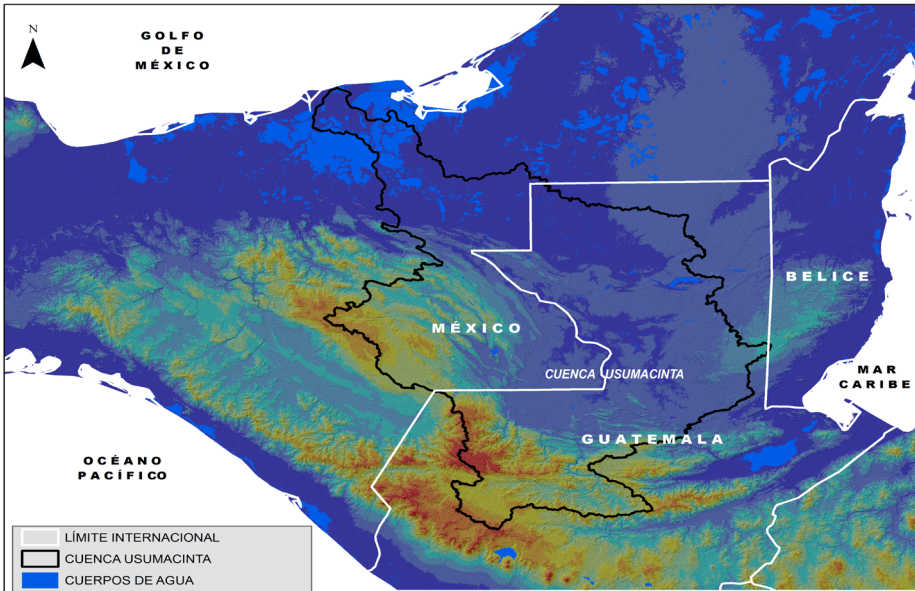
Fuente: García, G. Antonino (2010), con el apoyo en SIG de Emmanuel Valencia Barrera (ECOSUR-LAIGE, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas).

La cuenca Usumacinta abarca una extensión total de 73 192 km², de los cuales 58.08% corresponden a Guatemala, 41.91% a México y 0.01% a Belice (16 km²). El número de habitantes en la cuenca es de 2 353 842 concentrados en 9 058 centros urbanos; cabe destacar que en la pequeña porción de territorio beliceño no se encuentran centros de población (García, 2010).

La gran cuenca trinacional Usumacinta integra las corrientes y subcuencas (cuencas para las autoridades guatemaltecas) de los ríos guatemaltecos Pojom, Ixcán, Xaclbal, Salinas, La Pasión (incluye los 16 km² de Belice), Usumacinta y San Pedro. Los geógrafos

Introducción

Mapa 2. La gran cuenca trinacional Usumacinta.



Fuente: García, G. Antonino (2010), con el apoyo en SIG de Emmanuel Valencia Barrera (ECOSUR-LAIGE, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas).

y las autoridades guatemaltecas, en el mapa oficial de cuencas (MAGA,2005), llaman cuenca Usumacinta a una porción pequeña de 2 638 km² que va de la confluencia de los ríos Lacantún (lado mexicano), Pasión y Chixoy (lado guatemalteco en el vértice conocido como Altar de los Sacrificios) hasta la línea divisoria entre México y Guatemala en el estado de Tabasco. En efecto, en México se conoce como río Usumacinta el trayecto fluvial que identifica Guatemala y hasta su unión con la corriente del río Grijalva en el lugar denominado tres brazos en el municipio de Centla, Tabasco. En lengua Náhuatl Usumacinta (Usumacintla) significa *lugar de monos*. La cuenca San Pedro en el mapa oficial de Guatemala abarca 14 335 km²; ésta integra en su parte alta

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

guatemalteca las corrientes y las áreas de drenaje de los ríos San Pedro (Balancán, Tabasco) y Candelaria (Campeche).

La gran cuenca Usumacinta del lado mexicano abarca las corrientes que conforman la subcuenca Lacantún en Chiapas: Río Santo Domingo, Dolores, Euseba Jatate, Tzendales y Lacanja; así como el río Chancala cerca de Palenque. La corriente principal que drena al Usumacinta en el estado de Tabasco se denomina río San Pedro, como mencionamos líneas arriba.

Las precipitaciones en la cuenca transfronteriza Usumacinta van de los 1500 mm en las tierras bajas del Petén guatemalteco y parte de Tenosique Tabasco, hasta los 5000 mm en la parte alta del lado guatemalteco, es decir, en las mesetas escalonadas de los Altos Cuchumatanes en los Departamentos de Huehuetenango y Quiché. Las temperaturas promedio anuales en la cuenca Usumacinta van de los 8-12 °C en los Altos Cuchumatanes hasta los 26-30 °C en las tierras bajas del Petén guatemalteco y Tabasco. Según la altura sobre el nivel del mar (metros sobre el nivel del mar -msnm-), los climas presentes en la cuenca se pueden clasificar en tres: cálido de 0 a 1000 msnm, templado de 1000 a 2000 msnm, y frío de 2000 msnm para arriba; los tres tipos se encuentran presentes en esta cuenca.

En el ámbito histórico-cultural la cuenca Usumacinta tiene una larga vida de asentamientos humanos; según investigaciones arqueológicas históricas y socio-antropológicas (Piña Chan, 1982; Sharer, 1998; Grube, 2000), existen construcciones mayas que datan de hace 3500 años. La asentamientos humanos en la cuenca alta y media fueron impactados por las denominadas grandes sequías mayas entre el 400 y 900 d.C. (García, 2013; Richardson B., 2008). Durante el periodo colonial una parte de la cuenca del lado mexicano (Selva Lacandona) y otra del lado guatemalteco

Introducción

(Petén) se encontraba prácticamente despoblada (De Vos, 1980). En el periodo postcolonial la cuenca Usumacinta, en su porción media del lado mexicana –Selva Lacandona-, se empieza a explotar por madereros tabasqueños de 1822 a 1949 (De Vos, 1988); el establecimiento de nuevos núcleos de población en ambos lados comienza en las décadas 60 y 70 del siglo pasado. En esas décadas inicia un nuevo proceso acelerado de devastación de selva para ampliar la frontera agrícola y ganadera; esa dinámica persiste en la actualidad.

Las actividades vinculadas al fenómeno de cambio climático en la cuenca Usumacinta son la liberación de gases efecto invernadero por el derribo masivo de masas selváticas, la quema inducida y no inducida, el uso de agroquímicos en las tierras que antes eran selva y que en la actualidad han perdido su fertilidad para cultivos agrícolas, la actividad ganadera, así como los monocultivos de palma de aceite, teca, eucalipto y otras especies comerciales; esas actividades atentan contra la resiliencia de diferentes ecosistemas presentes en la cuenca.

Otras actividades en la cuenca, tanto en México como en Guatemala, que contribuyen al cambio climático son la extracción de petróleo y gas, hidroeléctricas y minería a cielo abierto; estas actividades son parte del modelo capitalista en su fase neo-extrativista adoptado por los gobiernos de los dos países; en la cuenca Usumacinta este modelo se hace presente a través del denominado Proyecto Mesoamérica (antes PPP -Plan Puebla Panamá-). Según Mellini (2004), se tiene también una devastación de Áreas Naturales Protegidas (ANP) en la porción guatemalteca por grupos de narcotraficantes (pistas de aterrizaje), población inducida por grandes terratenientes que provocan incendios para posteriormente argumentar jurídicamente el cambio de uso del suelo, el objetivo es utilizar la tierra para ganadería extensiva

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

y grandes plantaciones de palma de aceite. Según Conservación Internacional –CI-(2006), en la parte mexicana entre 2001 y 2005 se registraron alrededor de 30 invasiones a las ANP ubicadas en la Selva Lacandona, esa acción irregular (en lo agrario) atenta contra la alta biodiversidad de la selva y además produce gases efecto invernadero por la tala y quema de la vegetación.

La devastación de la gran selva maya en ambos países para inducir un cambio de uso del suelo y desarrollar actividades agropecuarias, forestales de monocultivo y neo-extratativismo, pone en riesgo la diversidad biocultural de pueblos indígenas y no indígenas, así como la mega biodiversidad de flora y fauna. Esta cuenca se considera como una de las regiones más ricas del mundo en biodiversidad, por ejemplo dentro del área denominada Selva Lacandona se encuentra la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA), esta reserva sólo representa el 0.16% del territorio nacional; a pesar de ser una pequeña superficie con respecto a la nacional en esta reserva se encuentran representadas el 28.4% de las especies de mamíferos de todo el país, 31.8% de aves, 11.7% de reptiles, 8.8% de los anfibios y 14.4% de las especies de peces de agua dulce (INE, 2000).

El factor histórico de anexión del actual territorio chiapaneco a México, se constituye como impedimento para realizar acciones conjuntas entre el gobierno mexicano y guatemalteco encaminadas a la mitigación y adaptación al cambio climático, colaboración en materia de cuencas hidrográficas compartidas y en acciones para mitigar la pobreza extrema en ambos lados. El factor pobreza y la tasa de crecimiento anual de la población (superior al 4%) se constituyen, entre otros aspectos internos, como causales de la devastación de la selva maya.

Introducción

Las descargas de emisiones de gases efecto invernadero no se encuentran contabilizadas por cuenca hidrográfica en Chiapas, Tabasco y en el plano nacional; esto es un error para la planeación e intervención de medidas tendientes a la mitigación y adaptación ante el fenómeno de cambio climático porque el trinomio a preservar es tierra, agua y vegetación. Los impactos del calentamiento global como ciclos irregulares de lluvia que provocan sequías e inundaciones, incremento de temperaturas, presencia de plagas y enfermedades en actividades agropecuarias, forestales y pesca, se perciben y son asumidos en una escala de subcuenca y micro-cuenca por parte de la población local.

Podemos asumir entonces que las tendencias presentadas en datos estatales sobre descargas de gases efecto invernadero se corresponden de igual manera para la cuenca Usumacinta, principalmente en el rubro de uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura; analizando las cifras oficiales de descargas de gases efecto invernadero en las dos entidades mexicanas que comparten territorio del lado mexicano en la cuenca Usumacinta, es decir, Chiapas y Tabasco tenemos lo siguiente:

El gobierno del estado de Chiapas a través de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural -Semahn- (2011), en el Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas -Paccch-, menciona que el estado descargó en 2005 un total de 28 161.08 Gg de CO₂e (bióxido de carbono equivalente), es decir 28 161 080 toneladas de CO₂e (Paccch, 2011:54). Desglosando las cifras se menciona que en primer lugar se encuentra el uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura con 57% (16 182.08 Gg de CO₂e); en segundo término están la emisiones del sector agropecuario (agricultura y ganadería) con el 19% (5 392.28 Gg de CO₂e), aquí se incluye la fermentación entérica (digestión del ganado) como una fuente importante de emisiones de metano

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

(CH₄) y la fertilización de tierras agrícolas que emite dióxido nitroso (N₂O) en menor proporción; la tercera posición la tiene el sector energético con el 15% (4 314.16 Gg CO₂e), la principal fuente de emisión es el consumo de combustibles fósiles para transporte (combustión de gasolinas y diesel). En un cuarto lugar, con el 8% (2 131.62 Gg CO₂e), se encuentra el manejo de residuos sólidos y aguas contaminadas por drenaje; la última posición corresponde a procesos industriales con emisiones provenientes de la producción de cal y alimentos, así como el consumo de gases refrigerantes (HFC), estas actividades emiten apenas el 1% (140.34 Gg CO₂e) (Semahn, 2011:54).

Las descargas de gases efecto invernadero en Tabasco, según datos oficiales presentados en el Programa estatal de acción ante el cambio climático del estado de Tabasco -Pacctab- (Sernapam,2011), en el periodo 2005-2007, alcanzaron 34 910.11 Gg de CO₂e; el desglose de esas descargas es el siguiente: El primer lugar con el 49.5% (17 279.79 Gg CO₂e) corresponde al uso del suelo; la segunda posición es para el sector transporte con 20.99% (Gg CO₂e); las aguas residuales se llevan el tercer lugar con 14.58% (5 090.59 Gg CO₂e); en cuarto lugar se encuentra la agricultura y la ganadería con 9.20% (3 210 Gg CO₂e); los desechos sólidos ocupan la quinta posición con el 3.13% (1 092.96 Gg CO₂e); el sector energía se lleva la sexta posición con 2.33% (812.33 Gg CO₂e); y en último lugar se encuentra la actividad de procesos industriales con el 0.27% (96.44 Gg CO₂e) (Sernapam, 2011:31).

El cambio climático se manifiesta a través de transformaciones climáticas de distintos tipos: incrementos de temperatura media global, alteraciones en los regímenes de precipitación, aumentos en el nivel del mar y modificaciones en los patrones de eventos climáticos extremos, entre otros fenómenos. Este fenómeno se atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera del planeta; las descargas

Introducción

de gases contaminantes por la actividad humana a la atmósfera y la propia variabilidad natural del clima. El cambio climático es definido como *cualquier cambio en el clima, ya sea por su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana* (IPCC, 2008); es preciso señalar que en esta definición se omite la combinación de ambos procesos para generar el fenómeno de cambio climático.

El fenómeno del cambio climático es inherente al ecosistema planetario desde su proceso de formación, sin embargo se debe resaltar que la comunidad científica atribuye la responsabilidad casi exclusiva de los cambios en el clima experimentados en los últimos 160 años a la acción humana. Ello representa un reto en la medida en que obliga a replantear la forma en que la “sociedad moderna” se relaciona con la naturaleza bajo el paradigma del desarrollo, el consumismo, la eficiencia y la productividad económica.

Desde mediados del siglo XX las ciencias duras han jugado un papel preponderante en la generación del conocimiento en torno al fenómeno del cambio climático, mientras las ciencias sociales han contribuido de forma moderada a la explicación del fenómeno. Como evidencia del papel de las ciencias duras, tenemos la tesis generalmente aceptada, la cual sostiene que la elaboración de políticas públicas en materia de cambio climático debe estar respaldada por la ciencia climática, es decir, en estudios centrados en las variaciones del clima planetario tanto en la escala global como regional (Lezama,2014). En esta perspectiva, el cambio climático se posiciona como una problemática de carácter ambiental, en vez de un fenómeno de dimensiones complejas que resulta de un modo específico en que la sociedad se relaciona con el ecosistema global y los ecosistemas concretos en los que desarrolla sus formas de vida.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Si partimos de la premisa que el cambio climático principalmente es de carácter antropogénico en el sentido que las actividades humanas generan emisiones constantes y crecientes de CO₂, CH₄ y otros gases de efecto invernadero, entonces las ciencias sociales deberán tener un papel importante en el análisis de las causas y efectos del fenómeno.

La ubicación de la problemática del cambio climático en el campo de las ciencias naturales y exactas, con su base estructural de análisis positivista, excluye las relaciones político-económicas, sociales, culturales, históricas, asimétricas y de escala del fenómeno. Ese tipo de estudios sustentados en el positivismo esconden el origen del cambio climático como resultado de relaciones de poder en el plano mundial, es decir, como resultado de asimetrías y desequilibrios estructurales en el ámbito global provocados por la lógica del capitalismo industrial de los países más ‘desarrollados’. No pretendemos soslayar los conocimientos generados desde el enfoque positivista, consideramos que éstos son valiosos, necesarios y pertinentes, pero no suficientes para comprender y analizar las dimensiones sociopolíticas del cambio climático. Bajo este panorama, el estudio del cambio climático precisa ser abordado desde distintas disciplinas que articuladas, contribuyan a la comprensión del fenómeno como un problema de carácter socio-ambiental.

Estamos convencidos que el cambio climático puede ser analizado desde diferentes perspectivas y no debe abordarse a través de una sola línea temática, pues caeríamos en el error de la excesiva simplificación del fenómeno; por ello las investigaciones en esta obra se sustentan en diversos marcos interpretativos y emplean disímiles metodologías. El material se encuentra organizado en tres apartados temáticos: el primero abarca discusiones acerca de los aspectos meteorológicos del cambio climático, con análisis

Introducción

sobre cambios en las temperaturas máximas y mínimas, con construcción de escenarios de cambio climático, entre otros contenidos. En la segunda parte incluimos estudios relacionados con el impacto del cambio climático en la agricultura y en las actividades agropecuarias, así como los cambios en los caudales ecológicos. Finalmente se cuenta con un apartado dedicado a los aspectos sociales del cambio climático, abordando cuestiones relacionadas con la percepción sobre las causas e impactos de este fenómeno, así como los procesos de adaptación a nivel local.

Es importante hacer notar que los trece trabajos que se presentan a continuación reflejan la posición de cada autor y autora respecto al tema tratado tanto en términos de acercamiento a la problemática como de planteamiento de posibles alternativas de solución. De esa manera, el libro en su conjunto no refleja una expresión institucional en la materia, y su fin último consiste en enriquecer la discusión sobre un tema tan relevante como el cambio climático. A continuación, presentamos los resúmenes de las contribuciones presentes en éste volumen.

El primer apartado, titulado *El cambio climático desde la perspectiva hidroclimática* comprende cuatro artículos. En el primer trabajo: “Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205 ubicada en la meseta comiteca de la RH Grijalva Usumacinta, en el marco de la inestabilidad climática global”, Martín Mundo Molina reflexiona sobre los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las series de temperaturas máximas y mínimas diarias y mensuales de 1961 a 2014 de la estación meteorológica 07205 “Comitán”, argumentando que, de 1961 a 1980 las oscilaciones mensuales de enfriamiento-calentamiento de temperaturas máximas, medias y mínimas absolutas y sus anomalías se concentran por debajo de la

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

media de cada serie, mientras que a partir de 1980 se concentran por encima de la media, con una tendencia de incremento, lo que lleva a plantear que se está desarrollando un proceso de calentamiento.

En el segundo ensayo de este apartado “Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta”, Mercedes Andrade Velázquez presenta una descripción general de la cuenca del río Usumacinta, con los moduladores principales del clima, retomando en particular la Oscilación del Sur/El Niño (ENSO). Señala que los sistemas causantes de la precipitación en dicha cuenca son los frentes fríos, huracanes y ondas tropicales, los cuales provocan inundaciones recurrentes en la región, que podrían agravarse bajo los efectos del cambio climático. La autora concluye con dos aseveraciones: la primera, que las inundaciones en la cuenca son consecuencia de las precipitaciones y del cambio del uso del suelo; y la segunda, que si bien a nivel estatal existe información generada con los nuevos escenarios del IPCC, a nivel local se carece de información y los investigadores tendrían que centrar los esfuerzos en generar investigación en esta escala.

Lorenzo Armando Aceves Navarro y colaboradores nos presentan la tercera contribución de éste apartado, titulado: “Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta”. Los autores plantean que tanto el IPCC como el PNUMA reportan incrementos en la temperatura promedio diaria anual global y en la precipitación global terrestre en los últimos 100 años; sin embargo se carece de información a nivel regional para comprobar las tendencias en precipitación y temperatura verificadas por las instituciones mencionadas. Su investigación se orienta a generar información a nivel regional y comprobar si los datos meteorológicos observados registran alguna tendencia de cambio en la temperatura y la

Introducción

precipitación, con la finalidad de determinar el sentido y magnitud del cambio en la subcuenca. Los autores concluyen con el señalamiento de que existen evidencias de tendencias de cambio respecto al tiempo para las variables de temperatura y precipitación en la zona de estudio y que las anomalías y tendencias de cambio no son uniformes para las diferentes variables y localidades estudiadas.

En la última contribución de este apartado, titulada “Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta, un caso de estudio”, Julio Sergio Santana, Martín José Montero Martínez y Efraín Mateos Farfán presentan una metodología para el cálculo de series de tiempo del Índice Normalizado de Precipitación (SPI), en la cual se establece un índice para la comparación de los SPIs en dos subperíodos dentro de una serie de tiempo. Con dicha metodología los autores analizan los datos de precipitación de la cuenca del río Usumacinta, registrados entre 1960 y 2008, para la caracterización del comportamiento histórico de las precipitaciones en dicha cuenca. Concluyen señalando que hay un dominio del período antiguo para las categorías húmedas y del período reciente en las categorías secas, con excepción de las categorías extremas (seca y húmeda), en donde prevalece el dominio del período reciente.

En el segundo apartado del libro, titulado *El cambio climático desde la perspectiva agrícola y ambiental*, se ubican cuatro contribuciones. La primera de ellas, planteada desde el referente agrícola, de Benigno Rivera Hernández y colaboradores, con título: “Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta”, aborda la variación de la temperatura durante un periodo de 30 años, correlacionándola con el ciclo reproductivo

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

del maíz y con las fechas de siembra recomendadas. Los autores argumentan que el principal factor que limita los rendimientos en maíz en el ciclo Primavera - Verano es la reducción del ciclo de vida del cultivo, por las elevadas temperaturas, dado que en este ciclo ocurre el mayor número de días con temperaturas mayores o iguales a 35°C. Concluyen señalando que, a nivel de la cuenca baja del río Usumacinta, la zona de Balancán es donde el estrés térmico durante la etapa reproductiva del maíz es el más elevado y frecuente, siendo en la zona de Tenosique donde el maíz se vería menos afectado por el estrés térmico con la consecuente reducción en los rendimientos.

Rebeca González Villela y Martín José Montero Martínez presentan la segunda contribución de éste apartado del libro, con la contribución "Efectos del cambio climático en el caudal ecológico del río Usumacinta. México". Aquí se expone y discute sobre la importancia de los estudios de evaluación del impacto del clima en los caudales ecológicos y ambientales para la conservación de las especies, la evaluación de la función y la capacidad de recuperación de los ecosistemas acuáticos, así como el bienestar de las personas que dependen de los ríos. Los autores señalan la tendencia positiva de la precipitación en la estación lluviosa y una disminución significativa en la estación seca, lo que implica que en el período húmedo llueve más y en la estación seca llueve menos, indicando que el clima es más extremo y que ello tiene consecuencias en los caudales ecológicos de los ríos de la cuenca. Los autores añaden que los componentes de caudal ecológico muestran las mayores variaciones para los caudales extremos bajos y caudales bajos, más frecuentes en el post-impacto (1980 a 2000), y en las pequeñas inundaciones, que coinciden con un periodo de sequía. Esto implica que el caudal natural muestra una merma en los periodos de secas y un incremento en lluvias, haciéndose evidente el cambio hacia condiciones más extremas y coincidentes

Introducción

con los cambios de precipitación. Concluyen señalando el aporte de la determinación de los caudales ambientales y ecológicos para la toma de decisiones.

La tercera contribución del apartado está a cargo de Mercedes Andrade Velázquez, con su obra titulada “Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social”. En el artículo, un grupo interdisciplinario de investigadores plantea estrategias de conservación, manejo y restauración de los ecosistemas terrestres, humedales y acuáticos, aunado al desarrollo de fuentes renovables de energía; como base de un modelo de desarrollo regional y de una agenda de investigación de largo plazo, centrados en los desafíos del cambio climático y teniendo como ejes la sustentabilidad ambiental, social y económica. Entre los resultados, se plantea una propuesta de diez ejes de políticas públicas para la conservación de la biodiversidad, ecosistemas y sus servicios en la cuenca baja del Usumacinta. Asimismo se hace un llamado a la promoción de la participación social en las estrategias de conservación y en la articulación entre sociedad, gobierno e iniciativa privada para orientar un cambio hacia la sostenibilidad del desarrollo en la región.

La última contribución de este segundo apartado es de Benigno Rivera Hernández y colaboradores, con el artículo titulado “Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta y su impacto en las actividades agropecuarias”. Los autores presentan un análisis de los diferentes escenarios de cambio climático elaborados para México, desarrollados por el INE mediante el ensamble de 23 modelos de circulación general de la atmósfera y océano acoplados, para las climatologías de 2020, 2050 y 2080, en los municipios Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata,

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Jonuta y Centla. Aseveran que el análisis de los mapas muestra anomalías e incertidumbres de temperatura y precipitación para las climatologías planteadas. Los autores concluyen señalando que las razas y cruza de ganado con genética predominante de ganado europeo irán desapareciendo de los sistemas productivos a medida que se vayan elevando las temperaturas promedio diarias. Esto implica que paulatinamente la producción de leche podrá desaparecer del estado de Tabasco, ya que predominarán las razas Cebuinas, productoras de carne y más tolerantes al calor, de tal suerte que los sistemas productivos de doble propósito carne-leche tenderán a desaparecer en el estado de Tabasco si ocurre el peor de los escenarios, y la ganadería del estado se transformará hasta convertirse en sistemas de producción de carne como una medida de adaptación para hacer frente a un ambiente cada vez más caliente.

Finalmente, el tercer apartado del libro, titulado *El cambio climático desde la perspectiva social* incluye los trabajos de Alejandra Peña y Marta Patricia Fernández; Alejandro Ortega-Argueta y colaboradores; Denise Soares y José Antonio González; Antonieta Zárate Toledo y Antonino García García; y la última contribución de Antonino García García, Denise Soares y Antonieta Zárate Toledo. Los cinco artículos de éste apartado abordan, desde diferentes perspectivas, los aspectos sociales del cambio climático, señalando percepciones sobre sus causas e impactos, así como apuntalando estrategias de adaptación desde lo local. La contribución de Alejandra Peña y Marta Patricia Fernández, titulada “Estrategias locales de adaptación a las variaciones climáticas en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco: una lectura desde los activos y la estructura de oportunidades”, analiza las percepciones sociales acerca del impacto del cambio climático en las actividades productivas en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco, parte baja de la cuenca del Usumacinta. Las autoras plantean que las

Introducción

comunidades están llevando a cabo adecuaciones espontáneas y aisladas para contrarrestar los impactos de los cambios en la variación de la precipitación y la temperatura que se viene experimentando desde hace aproximadamente tres décadas; sin embargo, no hay a nivel local una política pública en la materia que oriente el actuar de la población, a pesar de todo el entramado institucional sobre el cambio climático en el país.

El segundo ensayo de este apartado es el de Alejandro Ortega-Argueta y colaboradores, titulado: “Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México”. Los autores desarrollan un proceso de planificación participativa como insumo para la definición de un programa piloto de adaptación a ser considerado en el diseño de políticas públicas locales. Aseveran que el aporte medular de su propuesta metodológica es la inclusión social en los procesos de planificación, al permitir recuperar el conocimiento local sobre el área de estudio e incluir la percepción social sobre la problemática climática, así como involucrar a la gente en los procesos de gestión. Concluyen señalando que una sociedad bien informada y organizada será una sociedad que pueda anticipar y actuar de mejor manera ante los posibles efectos negativos del cambio climático.

En el tercer artículo de éste apartado, Denise Soares y José Antonio González nos presentan un recorrido por las dimensiones hidrológica, ecológica, demográfica y económica de la cuenca en su conjunto, aunado a un *zoom* a tres municipios de las partes alta y baja, en el cual podemos vislumbrar las percepciones de distintos actores sociales respecto a su vulnerabilidad frente al cambio climático. Los resultados muestran la debilidad de los distintos sistemas frente a los impactos del cambio climático, así como la preocupación de pescadores, ganaderos y agricultores

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

respecto a los impactos negativos en sus medios de vida y sustento. Los autores concluyen con el señalamiento acerca de la urgencia de que la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático logre brincar de un proceso de planeación a la actuación y que se implementen acciones concretas en pro del ambiente y de la población. Es decir, que se cuente con mecanismos efectivos para la ejecución de políticas de cambio climático a nivel local y se establezca una verdadera coordinación intersectorial, con responsabilidades específicas para las instituciones en los tres órdenes de gobierno.

Antonieta Zárate Toledo y Antonino García García nos comparten su trabajo titulado: “Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas: prácticas productivas y capacidades adaptativas frente al cambio climático” como el cuarto capítulo del apartado social. En dicha contribución los autores analizan las prácticas productivas desarrolladas por campesinos en el ejido Ojo de Agua - Municipio de La Independencia, haciendo énfasis en una perspectiva histórica de apropiación de los recursos naturales y su potencial para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación a la variabilidad climática desde una dimensión sociocultural. Los autores concluyen señalando que el acercamiento etnográfico a las formas de interacción entre sociedad y ambiente permite visibilizar las estrategias adaptativas empleadas por los campesinos a nivel local, las cuales les permiten mantener el arraigo a su territorio y que, en un contexto de cambio climático resulta de gran relevancia para el diseño de políticas públicas acordes con los contextos y dinámicas de la población que habita en los territorios.

Finalmente, Antonino García García, Denise Soares y Antonieta Zárate Toledo presentan la última contribución del libro, titulada “Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-

Introducción

Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos”. En dicha contribución, centrada en la parte alta de la cuenca del Usumacinta, en el estado de Chiapas, se analiza cómo los actores locales, entre ellos productores indígenas, no indígenas y funcionarios gubernamentales, perciben el cambio de clima local derivado del calentamiento global, en las actividades cotidianas, así como las acciones que delinean de forma deliberada o por intuición para desarrollar estrategias adaptativas. Entre las conclusiones planteadas por los autores, se encuentra la inexistencia de acciones concretas de las instituciones gubernamentales en torno al fenómeno de cambio climático; aunada a una percepción de los actores gubernamentales locales de que las políticas institucionales de cambio climático no aterrizan a nivel local, a partir de los problemas que enfrentan los distintos actores sociales en su cotidiano. Asimismo, los autores concluyen que las concreciones del cambio climático en comunidades indígenas y no indígenas se subjetivan de acuerdo al nivel de aculturación en el proceso productivo y organizacional; mientras los tojolabales reflexionan acerca del cambio climático desde su sincretismo cosmogónico y religioso, los no indígenas se mueven en el plano de la eficiencia y la productividad agrícola utilizando el modelo industrial de agricultura comercial. En términos de adaptación, las comunidades indígenas hacen lo que siempre han venido realizando en su devenir histórico-cultural: adaptarse a las condiciones climáticas en constante cambio, utilizando los recursos materiales e inmateriales heredados de generación en generación.

La diversidad de temas abordados en este libro da cuenta de la complejidad del cambio climático y sus infinitas aristas interpretativas. Este material presenta una aproximación a la articulación de diferentes disciplinas con el cambio climático y como tal, abona a la comprensión del fenómeno, sin querer

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

agotarlo. Esperamos con ello estimular el debate en la materia e incentivar el planteamiento de nuevas líneas de investigación sobre la articulación cambio climático – cuencas, desde los referentes hidrológico, ambiental, agrícola, social, cultural e histórico.

Antes de concluir quisiéramos agradecer a los/las autores/as por enviarnos sus contribuciones; así también manifestar nuestra sincera gratitud al equipo dictaminador que, sin sombra de dudas, aportó significativamente al enriquecimiento de los trabajos recibidos. Nuestro sincero reconocimiento a Roel Simuta Champoo (Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas); Edwin Cuellar Carrasco y Conrado Márquez Rosano (Universidad Autónoma Chapingo); Ronald Ontiverios (Cátedra Conacyt – IMTA); Rubén Huerto, Cipriana Hernández Arce, Omar Fonseca y Gabriela Colorado Ruíz (IMTA). Queremos extender un agradecimiento a Antonio Requejo por su labor de corrección de estilo, a José Antonio González por su compromiso con la edición del material, y Abril Pérez por su apoyo en el proceso de diagramación. Finalmente, nuestra gratitud al Fondo Sectorial Semarnat-Conacyt por financiar el proyecto denominado “Impactos socioambientales del cambio climático registrados en las cuencas del Río Conchos y del Usumacinta, de acuerdo a criterios del IPCC 2014”, del cual se derivó la presente obra colectiva.

Bibliografía

- Conservación Internacional –CI– (2006). *Pautas para la elaboración de plan de manejo de la cuenca Usumacinta*, Tuxtla Gutiérrez Chiapas, Informe técnico, p. 88
- De Vos, Jan (1980). *La paz de Dios y el rey la conquista de la selva lacandona (1525-1821)*, Secretaría de Educación y Cultura -SEC- y FCE, Colección Ceiba, Gobierno del Estado de Chiapas.

Introducción

- De Vos, Jan (1988). *Oro verde la conquista de la Selva Lacandona por los madereros tabasqueños 1822-1949*, Instituto de Cultura de Tabasco-FCE.
- García, Antonino (2010). *Instituciones y pluralismo legal: la hidropolítica en la cuenca transfronteriza Grijalva (1950-2010)*, tesis de doctorado, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.
- García, Antonino (2013). "Las inundaciones históricas en la planicie tabasqueña: un acercamiento integral de largo aliento en la perspectiva de cuenca hidrográfica", en (Coord.) Edith F. Kauffer Michel, *Cuencas en Tabasco: una visión a contracorriente*, CIESAS, México, pp. 61-99
- Grube, Nikolai (2000). *Los Mayas. Una civilización milenaria*, Könnehan, Colonia.
- INE -Instituto Nacional de Ecología (2000). *Programa de manejo de la reserva de la biosfera montes azules, México*, Semarnap-INE, México.
- IPCC (2008). *Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis*. Ginebra: IPCC.
- Lezama, José Luis (2014). "La política internacional del cambio climático", en *Sociedad y Ambiente*, año 2, vol. 1, núm. 3, noviembre de 2013-febrero de 2014, ISSN 2007-6576, pp. 104-117
- MAGA -Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación- (2005). *Atlas temático de la República de Guatemala*, MAGA- Unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo (UPGGR), Guatemala.
- Mellini, Yuri (2004). Centro de Acción Legal, Ambiental y Social (CALAS), "Declaración periodística", en *Prensa Libre*, 18 de abril de 2004, Guatemala.
- Piña Chan, Román (1982). *Los olmecas antiguos*, México, Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Richardson B., Gill (2008). *Las grandes sequías mayas agua, vida y muerte*, FCE, México.
- Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural -Semahn- (2011). *Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas -Paccch-*, Gobierno del estado de Chiapas.
- Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental - Sernapam- (2011). *Programa estatal de acción ante el cambio climático del estado de Tabasco -Pacctab-*, Gobierno del estado de Tabasco.
- Sharer, Robert J. (1998). *La civilización maya*, FCE, México DF.





**El cambio
climático
desde
la perspectiva
hidroclimática**





Deforestación de la selva
para introducir ganado

Fotografía
Antonino García García

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205 ubicada en la meseta comiteca de la RH Grijalva Usumacinta, en el marco de la inestabilidad climática global

Martín D. Mundo Molina

Resumen

La zona de estudio se ubica en el DTT Margaritas-Comitán perteneciente a la RH Grijalva-Usumacinta. Se analizaron las series de temperaturas máximas, medias y mínimas diarias y mensuales de 1961 a 2014 de la estación meteorológica 07205 "Comitán". Se rellenó el 2.7% de datos faltantes con el método WS. Para verificar la homogeneidad se utilizaron tres métodos: Standar Normal Homogeneity Test (SNHT), método de Von Neumann y método de Buishand. Las series heterogéneas se homogenizaron usando climatol. En el análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y el estudio de las anomalías de las tres series se encontraron mayores ciclos de calentamiento que de enfriamiento en las temperaturas medias y mínimas, no así en las temperaturas máximas. El estudio de percentiles confirmó que un poco más del 55% de la curva-masa de anomalías de temperatura media y mínima se ubican por encima de su valor de referencia.

Palabras clave: cambio climático, variabilidad climática, tendencias de temperatura, series temporales, percentiles.

Introducción

La variabilidad climática natural de la Tierra siempre ha existido. Desde esta perspectiva el cambio climático no es nuevo, data de tiempos geológicos. La Paleoclimatología da cuenta de ello mediante diversas técnicas, una de ellas son las impresiones creadas por los factores climáticos en épocas remotas mediante los “proxies” como las diatomeas, foraminíferos, corales, núcleos de hielo y de algunas rocas sedimentarias, anillos de árboles (Rivera *et al.*, 2011), sedimentos de lagos, lagunas y humedales (Zamora, 2013). Así de acuerdo a diversos estudios Paleoclimáticos y a Rivera *et al.*, (2011) afirman que en la etapa Precámbrica existió un calentamiento del planeta, luego siguió un enfriamiento durante la denominada “Snow Ball Earth”; en el Mesozoico hubo un retorno hacia climas cálidos y secos, posteriormente dominó un clima cálido pero húmedo; en el Cenozoico el balance térmico de la Tierra se caracterizó por un clima subtropical (cálido y húmedo) que culminó con la edad glacial. Durante los últimos 5 000 años la Tierra ha tenido fuertes oscilaciones de calentamiento y enfriamiento (Rivera *et al.*, 2011) generado por procesos naturales, sin embargo en la actualidad la hipótesis más aceptada sobre la inestabilidad climática de la Tierra y el cambio climático global es que el calentamiento se debe a acciones antropogénicas: Se está emitiendo una mayor cantidad de gases de invernadero (GI) a la atmósfera, que genera cambios en el clima del planeta. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como el *cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables* (IPCC, 2014).

En este marco se analizaron los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y las anomalías de las temperaturas máximas, medias

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

y mínimas, en un lapso de 54 años, de la estación meteorológica 07205 Comitán, localizada dentro de la región hidrológica (RH) Grijalva-Usumacinta, México.

Región y zona de estudio

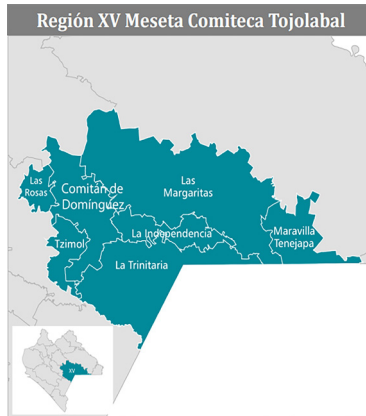
Región XV Meseta Comiteca Tojolabal, Chiapas. Está conformada por siete municipios: Comitán de Domínguez, La Trinitaria, La Independencia, Las Margaritas, Las Rosas, Maravilla Tenejapa y Tzimol (figura 1). Esta región tiene climas templados, semi-cálidos y cálidos por la variación de altura entre los municipios. Por ejemplo, entre las cabeceras municipales de Comitán y Tzimol existe una diferencia altitudinal de casi 250 metros en una distancia horizontal de 8.5 km. Bajo estas circunstancias topográficas los gradiente altitudinales de la región genera que la temperatura media anual en la mayor parte del territorio sea muy variada. Por ejemplo, el clima templado se presenta en la Sierra (por encima de los 1500 msnm) con temperaturas medias que varían entre 16°C y 18°C. En el resto de la región el clima es cálido con diferentes rangos pero predominan temperaturas entre 22°C y 24°C. La precipitación es de 2000 a 2500 mm/año en la zona de lomeríos. En el resto de la región las precipitaciones son menores y oscilan entre 800 y 1200 mm por año. Así, la orografía y el clima permiten la existencia de diversos tipos de bosques (coníferas, mesófilos de montaña y encinos), selva perennifolia, selva caducifolia y vegetación inducida (GEC, 2013).

Zona de estudio (ZE) y estación meteorológica utilizada. El DTT 011 Margaritas-Comitán tiene una superficie total aproximada de 30 000 ha. Una buena parte del DTT 011 se localiza en el valle agrícola ubicado en la meseta comiteca. La zona de influencia de la estación Comitán se encuentra dentro de los límites del DTT 011 y comprende una superficie de aproximadamente 8 km de

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

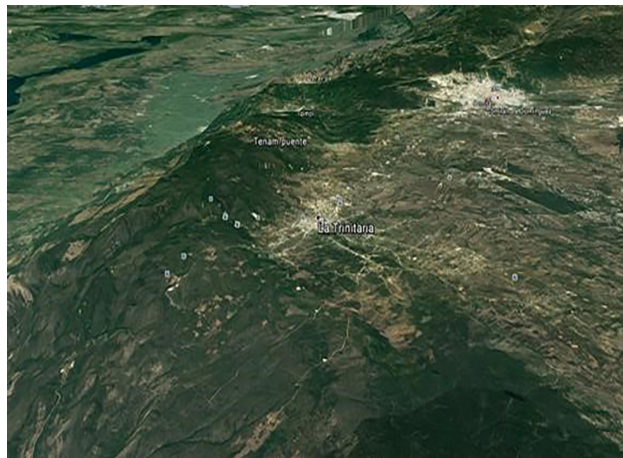
ancho por 15 m de largo como se observa en la figura 2, es decir, una superficie aproximada de 12 000 ha.

Figura 1. Localización de la región de estudio.



Fuente: GEC, 2013.

Figura 2. Meseta comiteca entre Comitán y La Trinitaria.

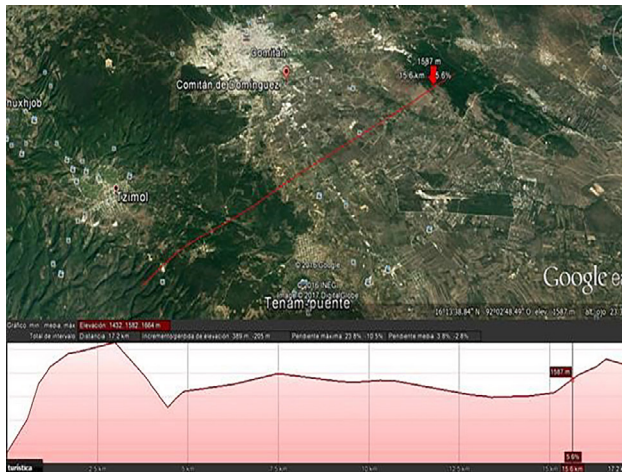


Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

En la ZE existe una amplia variedad de vegetación secundaria y cultivos agrícolas, sin embargo dentro del DTT 011 Margaritas-Comitán (ver figuras 2 y 3) la alteración antropogénica ha modificado la vegetación natural. Se ha deforestado el bosque de coníferas para sustituirlo por cultivos como (SEMARNAT, 2011): Frijol jitomate, maíz (ciclo agrícola otoño-invierno), calabacita, chile, jitomate, cebolla, frijol, maíz, pepino (primavera-verano), aguacate, durazno, limón, naranja, pasto (perenes). Las partes verdes de los lomeríos de las figuras 2, 3 y 4 que se observan en menor porción, son bosques de coníferas en algunas zonas en proceso de alteración. El valle es plano, como se puede ver en los perfiles del terreno mostrados en las figuras 3 y 4.

Figura 3. Perfil transversal de la meseta comiteca.

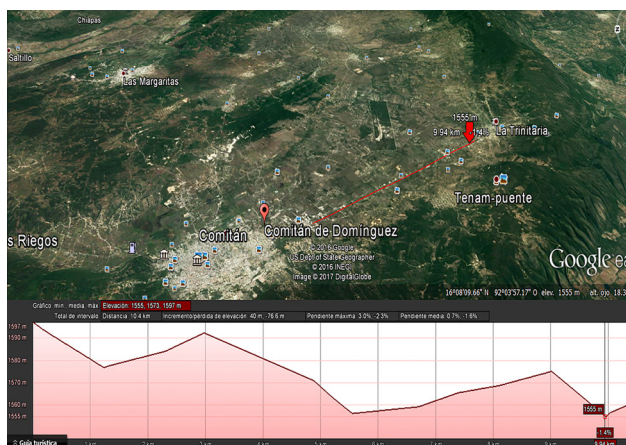


Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

En la figura 4 se observa el perfil longitudinal de una parte de la meseta, entre Comitán y La Trinitaria con una pendiente suave ($S=0.0123$), es decir, una diferencia altitudinal de 12.3 m por kilómetro entre ambas ciudades.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 4. Perfil transversal de la meseta comiteca.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Series temporales: Relleno de datos (método WS) y homogeneidad

Datos faltantes de las series temporales. Las series temporales de temperatura generalmente presentan datos faltantes que limitan su uso. Antes de analizar anomalías, procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento o tendencias es necesario conocer la cantidad de datos faltantes. De acuerdo a la OMM (2011) se recomienda no calcular un valor mensual si faltan más de 10 valores diarios (33 % de la información mensual). Por su parte en el documento de WMO (1989) se sugiere un criterio más estricto estableciendo el límite de 5 días faltantes al mes (17 % de la información). Para las normales o medias de un período se sugiere que existan al menos un 80 % de los años registrados y no falten los valores de más de tres años consecutivos (OMM, 2011). Estos requisitos los cumple de forma sobrada las series temporales de la estación Comitán que tienen un registro de 54 años diarios de temperaturas y solo 2.7% de datos faltantes.

Relleño de datos. Para utilizar datos meteorológicos con cierto nivel de confianza, se requiere que los registros históricos sean continuos, para disminuir los riesgos de error y evitar el sesgo de los resultados (Masseti, 2013). De acuerdo a Toro *et al.*, (2015) la OMM (2011) propone los siguientes métodos estadísticos para el relleno de datos faltantes: Regresión simple (RL), regresión múltiple (RM), razón q y razón-normal q (RN). Así, Toro *et al.*, (2015) realizaron un estudio cuyo objetivo fue determinar la confiabilidad de cuatro métodos de relleno: El U.S National Weather Service (WS), el deductivo racional (RD), la regresión múltiple (RM) y la regresión lineal (RL). Para cumplir con ese fin analizaron las series de precipitación, temperatura máxima y mínima de siete estaciones meteorológicas ubicadas en la zona norte del eje bananero del Urabá Antioqueño en Colombia en el periodo 2006-2009. Concluyeron que el método WS tiene errores cuadráticos mínimos similares a los otros métodos para la precipitación, temperatura máxima y mínima estudiada, por esa razón utilizaron este método para el relleno de los datos faltante de las 7 estaciones referidas, ya que los métodos RL y RM tuvieron bajos coeficientes de determinación. Un caso similar se presentó en la estación 07205 Comitán, por esa razón se utilizó el método WS para el relleno de los datos faltantes.

Método WS. El método WS considera que el dato faltante de la estación "A", puede ser estimado con base a las estaciones circundantes, ponderando los valores observados en una cantidad W igual al recíproco del cuadrado de la distancia (D) entre cada estación vecina y la estación "A". El dato faltante (Px) buscado será igual a (Gamboa, 2015):

$$P_x = \sum \frac{(P_i)(W_i)}{W_i} \quad (1)$$

**La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático**

Donde:

P_i = Dato observado en la fecha faltante en las estaciones auxiliares circundantes.

$W_i = 1/(d_i^2)$, d_i es la distancia entre cada estación circundante respecto a la estación incompleta.

Es evidente que el método WS requiere de estaciones cercanas para que el relleno de datos sea más eficaz. Las estaciones auxiliares utilizadas se muestran en el cuadro 1 y los valores W_i en el cuadro 2.

Cuadro 1. Estaciones auxiliares circundantes utilizadas.

Clave	Municipio	Nombre	Lat.	Long.	Alt. (msnm)	Dist. (km)
07205	Comitán	Comitán (DGE)	16.2511	92.1342	1630	-----
07062	Las Margaritas	Finca la Soledad	16.3881	91.8626	1469	32.79
07055	Las Margaritas	Finca Chayabe	16.3814	91.7106	1596	47.52
07104	Las Margaritas	Las Margaritas	16.3106	91.9747	1512	18.3
07190	La Trinitaria	La Trinitaria (CFE)	16.1178	92.0517	1540	17.2
07331	Las Rosas	Villa las Rosas	16.3672	92.3692	1300	28.2
07391	Las Margaritas	Yasha	16.3903	92.0760	1750	16.7

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de las estaciones auxiliares del cuadro 1, los valores de el cuadro 2 y la ecuación 1 se estimaron los datos diarios faltantes (P_x) de la estación Comitán que representan únicamente el 2.7% de toda la serie en un periodo de 54 años.

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

Cuadro 2. Valores de W_i para cada estación circundante.

Estación	$W_i = 1/d_i^2$ (km ²)
Finca la Soledad	0.000930073
Finca Chayabe	0.00044284
Las Margaritas	0.002986055
La Trinitaria (CFE)	0.003380206
Villa las Rosas	0.001257482
Yasha	0.003585643

Fuente: Elaboración propia.

Homogeneidad. Una serie temporal de temperatura puede ser no homogénea si hay errores de medición instrumental, errores en la codificación de los datos, cambios en el procedimiento de observación (por ejemplo, la hora de observación), cambios en los tipos de instrumentos o cambios de ubicación de los mismos a lo largo del tiempo (Elías *et al.*, 1996 y OMM, 2011).

La homogeneidad de las series temporales de temperatura es muy relevante porque permite detectar variaciones y tendencias de la serie en forma fidedigna. Así, en un conjunto de datos climáticos homogéneos todas las fluctuaciones contenidas en la serie temporal reflejan la variabilidad y el cambio fiable del elemento climático representado (OMM, 2011).

De acuerdo a Elías *et al.*, (1996) otras causas que pueden provocar que una serie meteorológica sea heterogénea son la variación del clima por deforestación, la construcción de una presa, incendios forestales o cambios climáticos a escala local o regional. En el caso de que una serie meteorológica sea heterogénea y no se pueda homogeneizar se recomienda desecharla.

Para verificar la homogeneidad de las series temporales de temperatura máxima, media y mínima diaria de la estación 07205

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Comitán, se utilizaron tres métodos: Standar Normal Homogeneity Test (SNHT), método de Von Neumann y método de Buishand. Al aplicar las tres pruebas las series resultaron heterogéneas, por lo tanto fue necesario aplicar varias técnicas de homogenización.

A modo de ejemplo se explica la prueba SNHT. Ésta asume una hipótesis nula, donde los valores de la variable examinada son independientes e idénticamente distribuidas (homogéneas). La hipótesis alterna asume que hay una fecha en la que hay un cambio en la media de los datos. Así, si Q es la media y Q_i la serie anual a ser examinada (i es el año) y S es la desviación estándar, entonces la prueba estadística $T(k)$ es (Alexandersson,1986):

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n-k)\bar{z}_2^2, \quad k=1, \dots, n \quad (2)$$

Donde:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{(Q_i - \bar{Q})}{S} \quad (3)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{(n-k)} \sum_{i=k+1}^n \frac{(Q_i - \bar{Q})}{S} \quad (4)$$

La media de los primeros k años y los últimos $n-k$ años del registro son comparadas. La variable $T(k)$ alcanza su valor máximo cuando hay un punto de cambio ubicado en el año k . La distribución $T(k)$ de la serie se puede observar graficando los resultados de cada año. El estadístico de prueba T_0 se definido como:

$$T_0 = \max T(k), \quad 1 \leq k \leq n \quad (5)$$

Si T_0 es superior al valor crítico, la hipótesis nula será rechazada. Los valores críticos dependen del tamaño de la muestra (cuadro 3).

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

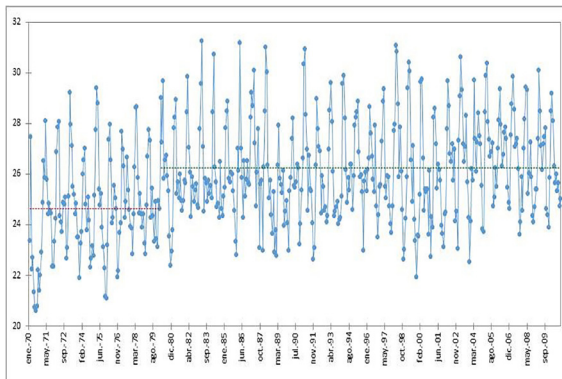
Cuadro 3. T_0 en función del tamaño de la muestra (Sahin y Cigizoglu, 2010).

n	20	30	40	50	70	100
1 %	9.56	10.45	11.01	11.38	11.89	12.32
5%	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15

Fuente: Elaboración propia.

Así, en la figura 5 se puede ver la serie heterogénea de temperaturas máximas de la estación 07205 Comitán.

Figura 5. Serie heterogénea de temperaturas máximas.



Fuente: Elaboración propia.

Las series heterogéneas de temperaturas máximas y mínimas se homogenizaron utilizando nueve estaciones auxiliares circundantes a la estación 07205 Comitán (ver cuadro 4) utilizando el software climatol (Guijarro, 2013). A modo de ejemplo en la figura 6 se muestra la serie de temperaturas máximas diarias homogenizada.

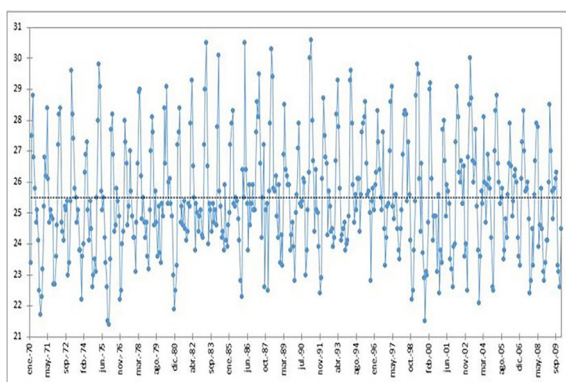
La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Cuadro 4. Estaciones auxiliares circundantes utilizadas.

Clave	Municipio	Nombre	Lat.	Long.	Alt. (msnm)	Dist. (km)
07205	Comitán	Comitán (DGE)	16.2511	92.1342	1630	-----
07037	La concordia	Finca cuxtepeques	15.7286	92.9689	1550	105.07
07055	Las Margaritas	Finca Chayabe	16.3814	91.7106	1596	49.06
07040	Ixtapa	El burrero	16.7892	92.8283	1544	95.12
07057	Tapachula	Finca chicharras	15.1331	92.0517	1540	124.09
07015	Bochil	Bochil	16.9864	92.8914	1200	114.31
07006	Altamirano	Altamirano (SMN)	16.7392	92.0378	1240	55.06
07048	Escuintla	Finca el triunfo	15.3481	92.5486	822	109.39
07009	Frontera comalapa	Aquespala	15.7942	91.9203	617	55.7
07039	Suchiapa	El Boquerón	16.6442	93.1572	500	117.38

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Serie homogénea de temperaturas máximas.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis y resultados de las anomalías de temperatura de la estación 07205 Comitán

Temperaturas máximas. En el proceso de homogenización fue necesario recortar la serie de temperaturas de la estación 07205 Comitán a 40 años, para hacerla coincidir con las estaciones circundantes del cuadro 4 que tienen periodos mas cortos en sus registros, como se muestra en la figura 6. Sin embargo en la figura 6 no se pueden apreciar los procesos de calentamiento-enfriamiento de la serie debido a su alta frecuencia (ver ecuación 6):

$$f=1/\tau \quad (6)$$

Donde:

f = Frecuencia de la serie
 τ = Longitud de onda

Por lo tanto se procedió a reducir “ f ” mediante la técnica de medias móviles. Se creó una nueva serie “promediada” como subconjunto de datos de la serie original, con el fin de suavizar las fluctuaciones de plazos cortos y resaltar las tendencias o ciclos de plazos largos. Se usó la técnica de “media móvil exponencial”, que es la media aritmética de los “ n ” valores anteriores con factores de ponderación que decrecen exponencialmente. Así, la media móvil de temperatura (T) de orden “ S ” es:

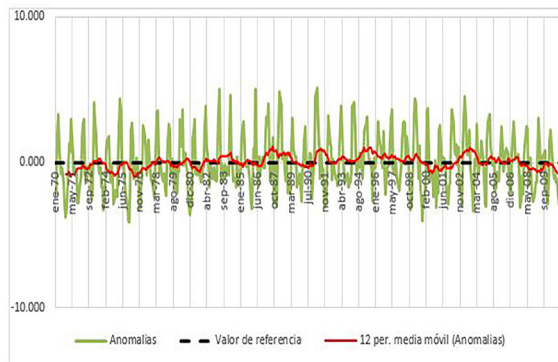
$$T_t^s = \frac{(T_t + T_{(t-1)} + T_{(t-2)} + \dots + T_{(t-s+1)})}{S} = \frac{\sum_{i=1}^{S-1} T_{(t-i)}}{S} \quad (7)$$

En la figura 7 se pueden apreciar las anomalías de la temperatura máxima de la estación 07205 Comitán suavizada con la ecuación (7) con $S=12$ (promedio de los últimos 12 meses) para observar la distribución (concentración de puntos) de las anomalías respecto al valor de referencia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

En esta figura se puede comprobar, que efectivamente en los decenios 71-80 la distribución de las anomalías de temperaturas está en su mayoría concentradas por debajo del valor de referencia de la serie, con excepción de los años 73, 78 y finales del 79, sin embargo en este decenio las temperaturas máximas tienen una tendencia de calentamiento. En las siguientes dos décadas 81-90 y 91-20 la distribución de las anomalías, en su mayoría, está por encima del valor de referencia (procesos de calentamiento-enfriamiento). Entre el año 2000 y 2002 existe un enfriamiento, luego le sigue un proceso de calentamiento (años 2002 y 2004) y de 2004 al 2009 una tendencia de enfriamiento.

Figura 7. Anomalías de temperatura máxima de la estación Comitán.



Fuente: Elaboración propia.

Si se define como curva-masa de temperaturas a las anomalías y su distribución sobre una línea de referencia, entonces el estudio de los percentiles sobre dicha curva masa es de utilidad. Un percentil es una medidas de posición no central (cuartiles, deciles, quintiles, percentiles) que está entre 0 y 100, de tal forma que para un conjunto de datos, por ejemplo para la serie de temperaturas máximas homogenizada, el percentil para un valor dado indica la posición (una especie de porcentaje) respecto a

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

otros que son igual o menores que dicho valor. De este modo se puede analizar la curva-masa de anomalías y el porcentaje de distribución de temperaturas por encima del valor de referencia (calentamientos) o el porcentaje de anomalías por debajo de la misma (enfriamientos).

Así el percentil P_k se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$P_k = ((N)(K))/100 \quad (8)$$

Donde:

K = Porcentaje de datos del centil

N = Tamaño del grupo

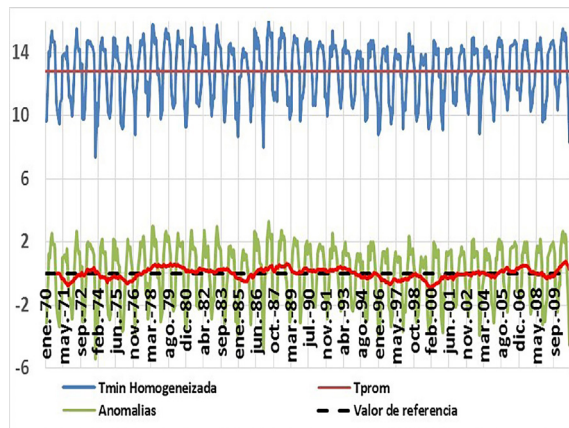
Si el P_{95} de la serie homogénea de temperaturas máximas es 28.94 °C y el P_5 es 22.60 °C, significa que el 95% de los datos de la serie de temperaturas máximas de la estación Comitán está por debajo de lo 28.94 °C mientras que solo el 5% se ubica por debajo de los 22.60 °C. Al aplicar la ecuación 8 para encontrar el percentil "Pk" asociado a la temperatura media de dicha serie ($T_{media}=25.48$ °C) se obtuvo $P_k=53.59$. Esto explica que el 53.81% de la curva-masa de anomalías de la temperatura máxima se ubican por debajo de 25.48 °C, por lo tanto el 46.41% se ubican por encima de dicho valor, lo que significa que a lo largo de 40 años la distribución de las anomalías de temperatura máxima tiene mas ciclos de enfriamiento que de calentamiento.

Temperaturas mínimas. En la figura 8 se pueden ver las siguientes curvas: a). Temperaturas mínimas homogenizadas, b). Anomalías y c). La serie suavizada con $S=12$. En esta figura se observa que las anomalías de temperaturas mínimas están distribuidas oscilando alrededor del valor de referencia en los 40 años analizados. Sin embargo, entre los años 70 y 72 se puede apreciar un enfriamiento,

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

después entre los años 73 y 74 un ligero calentamiento seguido de un enfriamiento que inició a finales del 74 y culminó en el 77. A finales del año 77 inició un proceso de calentamiento largo que duró aproximadamente 17 años el cual culminó a finales del año 94 (este periodo tuvo un ligero enfriamiento entre los años 85-86). A partir del año 94 inició un periodo de enfriamiento que duró 7 años, es decir hasta finales del año 2001 a partir del cual inició una etapa de calentamiento que tuvo un lapso de 8 años (culminó a finales del año 2009, que es el último registro del periodo estudiado).

Figura 8. Temperatura mínima de la estación Comitán.



Fuente: Elaboración propia.

El P_{95} de la serie homogénea de temperaturas mínimas es 15.14 °C y el P_5 es 9.70 °C, significa que el 95% de los datos de la serie de temperaturas máximas de la estación Comitán está por debajo de lo 15.14 °C mientras que solo el 5% se ubica por debajo de los 9.70 °C. El percentil “Pk” asociado a la temperatura media de la serie ($T_{media}=12.84$ °C) es $P_k=44.52$. Esto explica que el 44.52% de los datos de la curva-masa de las anomalías de la temperatura

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

mínima se ubican por debajo de 12.84 °C, mientras que el 55.48% de las anomalías de dicha serie se ubican por encima de dicho valor. Esto significa que a lo largo de 40 años las distribuciones de las temperaturas mínimas tienen más ciclos de calentamientos que de enfriamientos, es decir el 55.48% de la temperaturas de esta serie se ubican por encima de la temperatura media.

En el cuadro 5 se presenta un resumen de los percentiles de los datos de temperatura máxima, media y mínima de la estación Comitán en un periodo de 40 años. En el cuadro 6 se pueden ver los percentiles asociados a la temperatura media de la citadas series.

Cuadro 5. Percentiles de la estación meteorológica 07205 “Comitán”

Percentil	TMAX	TMEDIA	TMIN
P ₉₅	28.94	20.90	15.14
P ₅	22.60	15.80	9.70
P _k	53.59	44.92	44.52

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6. Percentiles de las temperaturas medias de cada serie de la estación meteorológica 07205 “Comitán”

Temperaturas	P _k	Tmedia
TMAX	53.59	25.48
TMED	44.92	18.57
TMIN	44.52	12.84

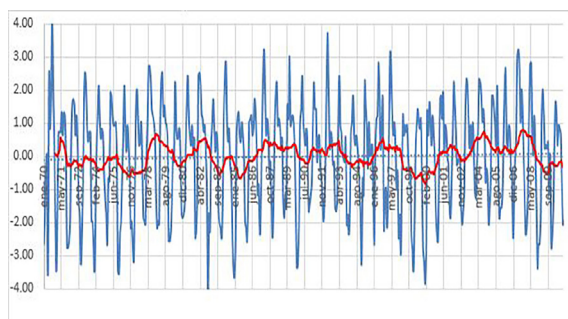
Fuente: Elaboración propia.

Con esta metodología también se probó que el 55.08 % de la curva masa de las anomalías de temperatura media se ubican

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

por encima de la media de dicha serie, lo que demuestra que existe un porcentaje mayor de ciclos de calentamiento que de enfriamiento como se puede ver en la figura 9.

Figura 9. Anomalías de la temperatura media.



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

A continuación se exponen algunos argumentos que muestran las restricciones de este trabajo de investigación, pero también los aportes y elementos objetivos en relación al comportamiento de la temperatura en la zona de influencia de la estación 0725 Comitán.

La estación 0725 Comitán no cumple con varias de las especificaciones estipuladas en Doorenbos (1981) respecto a su ubicación. Sin embargo no es la única, es el caso de la mayoría de las estaciones meteorológicas de este tipo instaladas en México, con las cuales se han realizado múltiples proyectos utilitarios y trabajos de investigación.

Por otra parte, de acuerdo a la OMM (2011) las estaciones meteorológicas deben estar situadas en emplazamientos en los que los cambios medioambientales de origen antropogénico sean mínimos, porque algunas alteraciones pueden causar

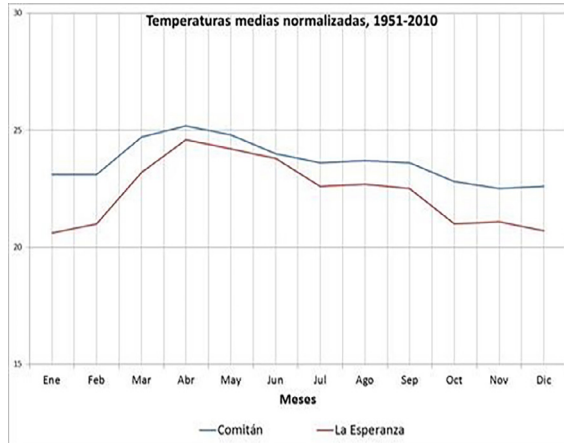
Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

sesgos graduales, como por ejemplo el desarrollo urbanístico en las inmediaciones de la estación, que es el caso de la estación 07205 Comitán. Por lo tanto, el análisis de homogeneidad en cada estación meteorológica estudiada debe ejecutarse con un conjunto de métodos como los realizó Toro *et al.*, (2015).

En la meseta comiteca solo hay dos estaciones meteorológicas que miden algunas variables, representativas de una superficie de 12 000 hectáreas (figuras 2 y 3). Existen otras pero se ubican fuera de la zona de estudio y disponen de poca información; algunas de ellas tienen muchos datos faltantes y no cumplen con las recomendaciones expuestas en este trabajo. Por lo tanto, las razones por las que se decidió realizar el análisis de datos con una sola estación son las siguientes: 1. No estuvieron disponibles (en tiempo y forma) los datos de la estación La Esperanza (ubicado en La Trinitaria a 10 km en línea recta de la estación Comitán), 2. Era necesario disponer de información preliminar del comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas en el marco de la inestabilidad climática en la zona, para tener elementos objetivos que permitieran elaborar estudios posteriores, 3. De acuerdo a Renom (2011) la estación Comitán no cumple estrictamente con la escala espacial "local", porque la distancia horizontal (d) para estudios locales debe ser: $100 \text{ m} > d < 3000 \text{ m}$. Sin embargo la estación Comitán representa bien a la climatología de la zona de estudio, porque la topografía es plana y la distancia horizontal entre Comitán y el extremo opuesto de la zona de estudio es de 10 km, con una diferencia altitudinal de 130 metros. Por lo tanto no existen cambios apreciables de temperatura en la meseta bajo estudio, como lo demuestra el comportamiento de las temperaturas normalizadas (normales climatológicas, 1951-2010) de las estaciones 07205 Comitán y La Esperanza, que tienen un $R^2=0.87$ (figura 10).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 10. Temperaturas normalizadas de 1961 a 2014 en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se estudiaron las series de temperaturas máximas, medias y mínimas de la estación 07205 Comitán ubicada en el DTT Margaritas-Comitán en la RH Grijalva-Usumacinta que tiene un registro de 54 años (enero de 1961 a enero de 2014). Debido a que las series tenían 2.7% de información faltante se rellenaron con el método WS. Se analizó su homogeneidad con el método SNHT. Debido a su heterogeneidad se homogenizó con climatol. Una vez homogenizada se analizaron los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y las anomalías de las temperaturas máximas, medias y mínimas en un periodo de 40 años. Las anomalías de las temperaturas máximas tienen periodos de calentamiento-enfriamiento que están en su mayoría concentradas por debajo del valor de referencia de la serie, es decir, se probó que el 53.81% de los datos de temperaturas máximas se ubican por debajo de 25.48 °C que es la temperatura media de dicha

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

serie, así a lo largo de 40 años esta serie tiene más ciclos de enfriamiento que de calentamiento. Sin embargo el 55.48% de las anomalías de la serie de temperaturas mínimas se ubican por encima de su valor de referencia, esto significa que a lo largo de 40 años las distribuciones de las temperaturas mínimas tiene mas ciclos de calentamiento que de enfriamiento y están en ese porcentaje por encima de la temperatura media de dicha serie. También se comprobó que el 55.08% de la curva masa de anomalías de la serie de temperatura media está por encima de su valor de referencia. Esto significa que existen más ciclos de calentamiento que de enfriamiento a lo largo de 40 años. Finalmente, para probar las tendencias de calentamiento de las series temporales de temperatura de la estación 07205 Comitán se sugiere estudiarlas con varios métodos paramétricos y no paramétricos, con un nivel de significancia $\alpha=5\%$.

Agradecimientos

A María Concepción Villagrán Alegría y a Ricardo Fidel García Sánchez, estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) quienes realizaron la depuración de los datos meteorológicos, rellenanon las series temporales y apoyaron para realizar los estudios estadísticos. A la Dirección General de Extensión Universitaria de la UNACH, por el apoyo recibido con la asignación de estudiantes a este trabajo de investigación.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Bibliografía

- Alexandersson, H. 1986. *A homogeneity test applied to precipitation data*. J. Climatol., 6, 661-675.
- Doorenbos, J. 1981. *Estaciones Agrometeorológicas*. FAO, Serie Riego y Drenaje n. 27.
- Elías, C.F., Castellvi, S.F. (1996). *Agroclimatología*. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Gamboa, C.R. (2015). *Evaluación de modelos empíricos, matemáticos y redes neuronales para estimar datos faltantes en estaciones meteorológicas en México*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 142p.
- GEC. (2013). *Programa regional de desarrollo 2013-2018. Región XV Meseta Tojolabal Comiteca*. Gobierno del Estado de Chiapas (GEC). Tuxtla Gutiérrez.
- Guijarro, A.J. (2103). *User's guide to climatol*. State Meteorological Agency (AEMET), Balearics Islands Office, Spain.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas*. Documento técnico II del IPCC. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Masseti, L. (2013). *Analysis and estimation of the effects of missing values on the calculation of monthly temperature indices*. Theor. Appl. Climatol. 117(3-4):511-519.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. OMM No. 100. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Ginebra, Suiza.
- Renom, M. (2011). *Principios básicos de las mediciones atmosféricas*. Unidad de Ciencias de la Atmósfera de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República de Uruguay. Montevideo, Uruguay.
- Rivera, O. S., Gómez, E.C, Vargas I.C., Tapia, Z. A., Guadarrama, C.F. (2011). *Cambio Climático Global a través del tiempo geológico*. Investigación Universitaria Multidisciplinaria. Año 10, nº10.

Análisis de los procesos cíclicos de enfriamiento-calentamiento y anomalías de las temperaturas máximas y mínimas de la estación meteorológica 07205

- Sahin, S., Cigizoglu, K. (2010). *Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set*. *Hidrological Processes*. Vol. 24. 8: 981-992.
- SEMARNAT. (2011). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Años agrícola 2010*. Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- Toro, T.A., Artega, R.R., Vázquez, P.M., Ibañez, C. L. (2015). *Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.6 Núm.2, p. 577-588.
- Zamora, A. A. (2013). *Primera reconstrucción paleo-climática cuantitativa: del polen de madriguera al clima del pasado en un transecto altitudinal del Altiplano de Chile, Pozo Almonte-Salar del Huasco, Región de Tarapacá*. Tesis de licenciatura. Carrera de Geografía. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- WMO. (1989). *Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals*. WMO/TD-No. 341, WCDP-No. 10, Ginebra, Suiza.



Entrada al cañón del
Usumacinta en
Tenosique, Tabasco



Fotografía
Antonino García García

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

Mercedes Andrade Velázquez

Resumen

En este capítulo se presenta una descripción general de la cuenca del río Usumacinta, así como de los moduladores principales del clima en la región, haciendo hincapié en El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Posteriormente se discute sobre las inundaciones, problema recurrente en la región que podría agravarse bajo los efectos de cambio climático. Al final, se converge en una alternativa que permita dimensionar una respuesta científica y la generación de escenarios climáticos, mediante un panorama sobre el trabajo realizado en México.

Palabras clave: Usumacinta, clima, cambio climático, escenarios.

Agradecimientos

Al Dr. Martín Montero, por su retroalimentación para enriquecer este capítulo.

Breve descripción de la región

La cuenca del río Usumacinta se ubica en los estados de Chiapas, Tabasco y Campeche, aunque la cuenca se extiende más allá de los límites nacionales, ya que Guatemala (quién, de hecho, tiene la mayor parte de la cuenca) y Belice la contienen también. El río Usumacinta se cataloga como uno de los más caudalosos en América y los ecosistemas aledaños son, principalmente, humedales ricos en biodiversidad (Carabias *et al.*, 2015).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Sus suelos se caracterizan por ser arcillosos y arenosos en grandes planicies y también cuenta con áreas de bosques en regiones montañosas. El clima de la región es cálido y húmedo con transición a semicálido en regiones montañosas (Carabias *et al.*, 2015). Además, el clima es modulado por otros factores de influencia global descritos más adelante.

Figura 1. Hidrografía de la cuenca Grijalva-Usumacinta.



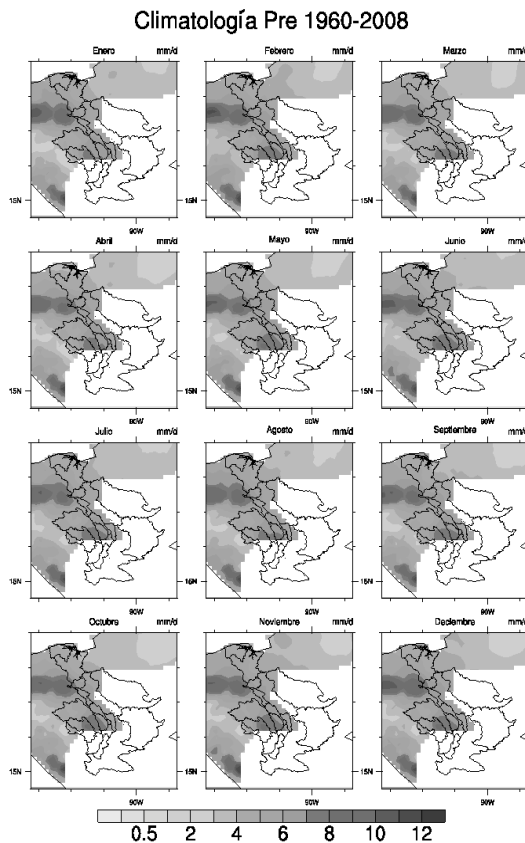
Fuente: Arreguín-Cortés et al., 2014.

La red hidrológica de la región se observa en la figura 1, donde los ríos Usumacinta y Grijalva confluyen. También, se pueden observar los diferentes afluentes o ríos más pequeños que se extienden en su periferia, los cuales aportan caudales. Es importante mencionar que en este sistema existe infraestructura de gestión que busca resolver problemas recurrentes de inundaciones, características de la región, y que a la fecha continúa siendo un problema no resuelto (Gama *et al.*, 2010). Asimismo, estas presas hidroeléctricas localizadas en el Grijalva buscan apoyar la demanda de energía eléctrica y actividades ganaderas y agrícolas. Sin embargo, las inundaciones son recurrentes por las planicies del lugar y desbordamientos de ríos, que suelen suceder en época de lluvias,

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

principalmente, derivados de fenómenos tales como huracanes y frentes fríos, también descritos más adelante, que provocan precipitaciones intensas (de hasta 1 000 mm). No obstante, el problema se agrava por el bajo escurrimiento e infiltración del suelo, originado por la deforestación irregular. Los meses con mayor intensidad de precipitación y crecientes son septiembre y octubre (Arreguín-Cortés *et al.*, 2014).

Figura 2. Climatología de la precipitación para el periodo 1960-2008 en la cuenca del río Usumacinta.



Fuente: CCGSS, 2017; datos del Cicese (Zhu and Lettenmaier, 2007; Muñoz-Arriola *et al.*, 2009).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

La figura 2 muestra el comportamiento de la precipitación durante el año. Podemos observar que en los meses de invierno (diciembre-febrero), la mayor parte de la cuenca que pertenece a México, se encuentra con precipitación media de 3 mm/d, excepto para la región centro-oeste, donde puede alcanzar hasta los 5 mm/d. En cambio, los meses de julio-octubre se presentan lluvias de 5 a 7 mm/d en prácticamente toda la región. Cabe mencionar que estos datos representan la climatología del lugar y no eventos extremos.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE) (2008), Tabasco es la entidad federativa con mayores precipitaciones mensuales en los meses de septiembre-octubre (332.3 y 315.1 mm, respectivamente), con disminución significativa en los meses de marzo a abril (57.4 y 55.3 mm, respectivamente) en el periodo 1971-2000. Para Chiapas, el mes más lluvioso es septiembre. En el caso de eventos extremos, reportan que las precipitaciones máximas diarias a 70 mm son comunes en Chiapas y Tabasco durante la temporada de lluvias, presentándose más de tres veces al año, con valores puntuales de 350 mm o lluvias acumuladas en dos o más días de 100 a 150 milímetros.

En la siguiente sección, se dará una perspectiva general de los fenómenos que producen la precipitación en la región, categorizados de acuerdo con su ocurrencia a escala temporal, de tal manera que se visualice de forma sencilla el comportamiento del clima en la región.

Fenómenos climáticos que modulan el clima en la cuenca del Usumacinta

Los grandes moduladores del clima en la región son: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), por lo que a continuación se describirán los comportamientos de la precipitación (figura 3) y la temperatura bajo estos moduladores, como principales indicadores climáticos en las estaciones de verano e invierno.

El clima de la región se determina principalmente por la ZCIT, la cual se encuentra muy cercana al ecuador terrestre y está sujeta a la dinámica de los vientos alisios. La ZCIT se origina por la convergencia de estos vientos provenientes del norte con rumbo al sur y que, por la rotación terrestre, se desvían hacia el oeste (esto en el hemisferio norte). Entonces, la ZCIT es una franja de nubes que cubren el ecuador terrestre y que en verano tienden hacia latitudes nortes. La ZCIT se mueve desde el ecuador hasta el sureste mexicano, con enormes masas de nubes de gran actividad que producen precipitaciones. En esta zona se detectan las ondas tropicales que, en muchos casos, impulsan la generación de huracanes en el océano Pacífico y en el mar Caribe. En particular, los huracanes que alcanzan el Golfo de México e influyen algunas veces en las costas del estado de Tabasco se originan en la Zona de Convergencia Intertropical.

Por otro lado, el fenómeno del ENSO afecta grandes regiones a escala mundial que producen, dependiendo de la región, desde fuertes sequías hasta tormentas severas e inundaciones. Por ENSO, se conoce el desplazamiento de agua caliente del Pacífico oeste al Pacífico central y que alcanza las costas del Perú; es decir, un cambio en la temperatura superficial del mar (SST, por sus siglas

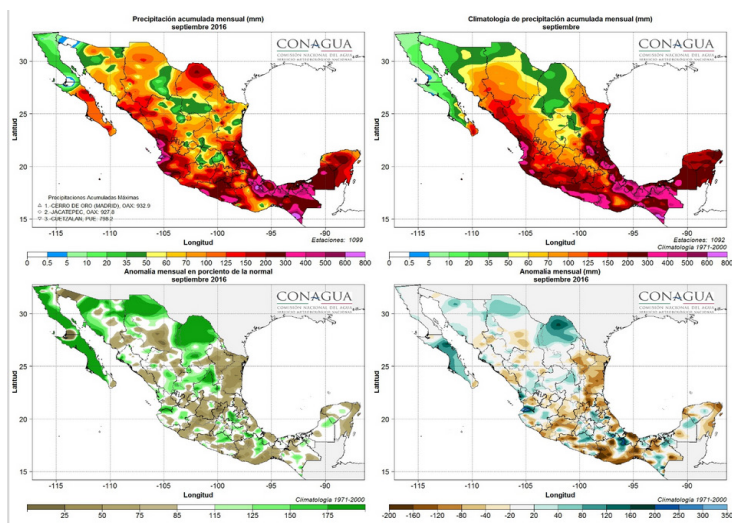
La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

en inglés) conocida como “anomalía positiva”. Por tanto, aumenta la temperatura de superficie del mar enfrente de las costas del Pacífico en Centroamérica y parte de México, aumentando el vapor de agua en esa zona.

Estos dos fenómenos forman parte de la variabilidad climática natural, la cual difiere en escalas de tiempo y espacio, particularmente el fenómeno ENSO, por lo que determinar sus efectos no es tarea trivial.

Por otro lado, los efectos aunados al cambio climático se esperan sean significativos; es decir, mayor frecuencia de eventos extremos, así como en intensidad (IPCC, 2012). México es vulnerable a ellos en diferentes grados y áreas (Gama *et al.*, 2010).

Figura 3. Precipitación acumulada mensual, septiembre 2016. Referirse a Tabasco.



Fuente: SMN/Conagua, 2017.

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

En verano, la precipitación en la región se produce además por sistemas ciclónicos, como son los huracanes que se originan en el mar Caribe y logran alcanzar el Golfo de México, o bien, algún otro ciclón que se origine en el Pacífico cerca de las costas de Chiapas y cuya extensión pueda alcanzar el estado de Tabasco. A esto, se suman las precipitaciones producidas por los sistemas convectivos de la ZCIT, como se describió anteriormente.

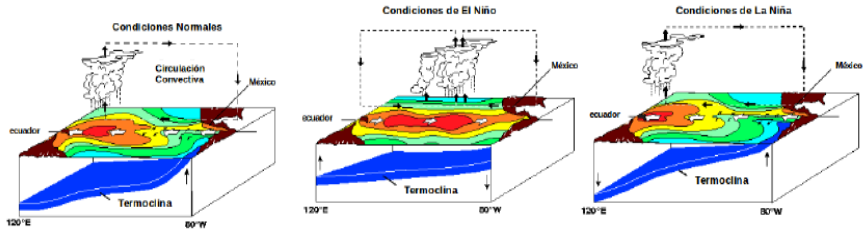
En esa temporada, también se presenta una señal conocida como “sequía intraestival”, no exclusiva de la región. El nombre corresponde a la disminución de lluvia significativa durante todo el periodo de lluvias de verano. Se representa gráficamente como un mínimo en la curva de precipitación estacional, aproximadamente entre julio y agosto, la cual se asocia con las fluctuaciones en la SST, en el Pacífico (Magaña *et al.*, 2003).

Estos eventos se modulan con la presencia activa o no del ENSO (figura 4). En la fase El Niño, las precipitaciones en el sureste mexicano son menores a las normales, teniendo épocas de secas debido a que los vientos alisios mantienen a la ZCIT cerca del ecuador y la disminución de huracanes en el Atlántico por aumento en la cizalladura de los vientos vertical y alisios, y una mayor estabilidad atmosférica. En la fase La Niña el fenómeno es inverso. La precipitación está por encima de la normal, lo que puede deberse al incremento en número de los huracanes producidos en el Atlántico durante esta fase por un debilitamiento en la cizalladura de vientos vertical y alisios, y menos estabilidad atmosférica¹.

1 <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/impacts-el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-hurricane-season>

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 4. Representación atmósfera-océano en condiciones de El Niño-Oscilación del Sur.



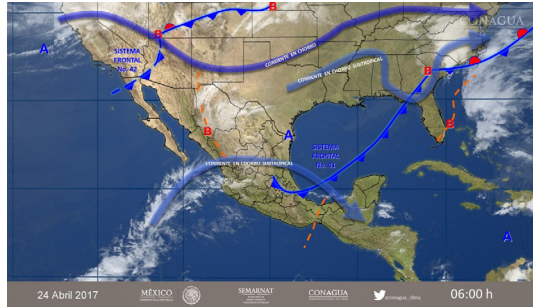
Fuente: SMN/Conagua, 2017.

En otoño-invierno, las lluvias se deben, principalmente, al paso por la región de frentes fríos que se encuentran con sistemas de baja presión. Estos eventos se caracterizan por tres o cuatro días muy calurosos antes de su llegada (Magaña *et al.*, 1998) y, posteriormente, por un descenso de temperatura con fuertes rachas de vientos, los cuales son conocidos como “nortes” y que dejan precipitaciones en la zona. En fase El Niño en invierno, las lluvias en el Golfo de México también disminuyen a pesar de que el número de nortes aumenta. Otra característica en las lluvias de invierno es su comportamiento, que no siempre es el mismo entre años durante la fase El Niño. En fase La Niña, ocurre lo opuesto; es decir, hay precipitaciones por encima de lo normal.

Existe otro factor asociado con la precipitación en la región. Este es el Jet Subtropical, sistema de vientos del oeste que conecta el Pacífico con mares del Caribe (figura 5). Si bien aún no se conoce la influencia de este sistema con toda certeza, sirve para el paso de otros sistemas de latitudes medias; por ejemplo, huracanes en verano y frentes fríos en invierno (Magaña *et al.*, 2003).

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

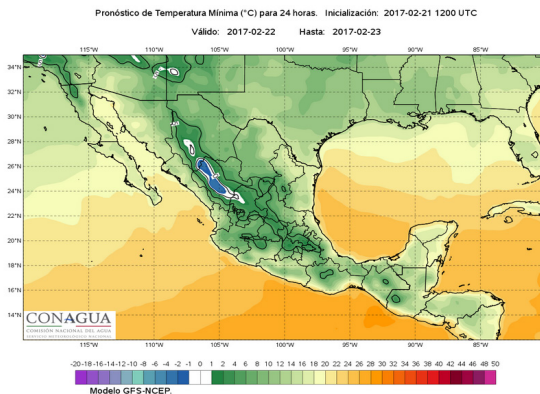
Figura 5. Sistemas meteorológicos asociados a precipitación en México. Condiciones de ENSO neutras.



Fuente: SMN/Conagua, 2017.

La temperatura superficial en verano, bajo la fase El Niño, es mayor debido a que los vientos alisios son más intensos y llevan la nubosidad que caracteriza a la ZCIT hacia el ecuador, de tal manera que la región se despeja de nubosidad, lo cual permite el paso directo de la radiación, aumentando así su absorción en superficie, calentándola. En invierno, se presentan incrementos de frentes fríos (figura 6) que pasan por la región, produciendo mayor frecuencia de bajas temperaturas.

Figura 6. Temperaturas mínimas pronosticadas al paso del frente frío No. 29 (2016-2017). Condiciones de ENSO neutras. Referirse al estado de Tabasco.



Fuente: SMN/Conagua, 2017.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Otros factores que controlan el clima de una región son: latitud, elevación, topografía, proximidad a grandes masas de agua y circulaciones atmosféricas dominantes (Landa *et al.*, 2008). Igualmente, otro factor en el ámbito global es el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, conocido como “cambio climático”.

Los efectos a escalas regional o local no se han determinado; sin embargo, podrían reflejarse en intensificación de huracanes y el ENSO, o bien, si hay una atmósfera más caliente que intensifica el ciclo hidrológico, es decir, aumento de vapor de agua y precipitaciones, la componente escurrimiento-infiltración se alteraría. En esta última repercutiría la deforestación, factor ya existente producido por actividades humanas. No obstante, estas hipótesis deben ser confirmadas, siendo en la actualidad sujetas de estudio.

Una consecuencia adicional que se proyecta es el aumento en el nivel medio del mar (IPCC, 2013) del que nuestro país no está exento. Este nivel ha ido aumentando y las mediciones costeras en el Golfo de México reflejan esta tendencia (RMCC, 2015). De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en un escenario para el año 2050 el ascenso del nivel medio del mar puede ser de hasta 1.5 metros (Arreguín-Cortés *et al.*, 2014.). Otro efecto relevante es una amplia magnitud de la precipitación acumulada anual respecto a los años secos y húmedos, donde los efectos, de acuerdo con los escenarios del IPCC, serán evidentes después del año 2030 (IMTA, 2007).

Sin embargo, los impactos futuros que se esperan por el cambio climático no se pueden determinar, sino sólo dimensionar con apoyo de herramientas matemáticas como son los grandes

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés), que permiten generar proyecciones de cambio en las variables climáticas en el ámbito global. Dado que la escala en este ámbito resulta burda para definir un panorama en ámbitos regional o local, se utilizan diferentes métodos para obtener esa información. A continuación, se describe el trabajo que se hace en México.

Métodos de generación de escenarios climáticos

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) presentó los escenarios de precipitación y temperatura media anual de 2020, 2050 y 2080, donde las tendencias muestran decrementos en las precipitaciones totales anuales en un rango de 5-25% y aumentos de temperatura de hasta 4 °C, con los resultados de GCM que contribuyeron al Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC (IPCC-AR4) (PEACC, 2011). Estas variaciones podrían tener implicaciones importantes en diversos sectores del estado de Tabasco.

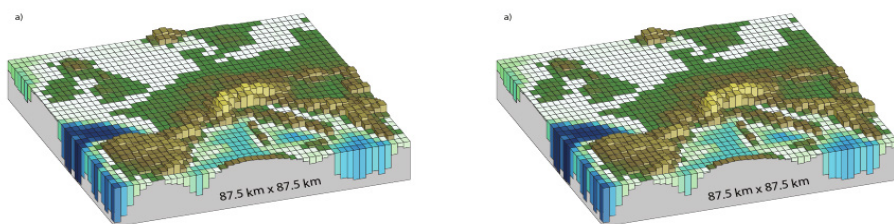
En cuanto a los posibles cambios asociados con la temperatura, se proyecta un aumento de 1 °C, en 2039, a 4 °C en 2099, y las zonas más amenazadas son los municipios de la región Chontalpa, principalmente Cárdenas, Comalcalco, Paraíso y Huimanguillo, y los efectos a mayor cercanía a las costas del golfo serían mayores.

Respecto a la precipitación, las proyecciones apuntan a una disminución en general en todo el estado, que va de -50 mm a -150 mm para el 2039, y de -200 mm para el año 2099 hacia la zona limítrofe con el estado de Chiapas, en particular (PEACC, 2011). Asociados con los escenarios de temperatura, se requiere presentar un aumento en el nivel de los mares relacionado con el deshielo de los glaciares continentales y la dilatación térmica (PEACC, 2011).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

A pesar de los resultados generados previamente, los escenarios se actualizan de acuerdo con las nuevas publicaciones del IPCC, lo que lleva a México a realizar lo mismo. Es por eso que en 2012 se hizo una revisión entre los diferentes métodos de reducción de escala que se habían trabajado en México hasta entonces, donde el Inecc (en ese entonces todavía INE) llevó a cabo una reunión con los principales actores: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (Cicese), para implementar métodos de reducción de escala, en la cual se determinó que el algoritmo Fiabilidad de Ensamble Ponderado (REA, por sus siglas en inglés) sería el método a implementar para las nuevas proyecciones climáticas regionalizadas a 50 x 50 km, utilizando el ensamble de los GCM (figura 7) que participaron en el *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5* (CMIP5, por sus siglas en inglés) y, por lo tanto, contribuyeron al más reciente Quinto Reporte de Evaluación del IPCC (IPCC-AR5).

Figura 7. Resoluciones de escala: a) GCM y b) reducción de escala.



Fuente: *Climate Change 2013: The physical science basis, Contribution of Working Group I to AR5, IPCC, 2013.*

Las proyecciones se realizaron para las variables de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima, bajo tres trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés)

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

(Giorgi y Mearns, 2002; Montero *et al.*, 2008, 2010); RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 (figura 8) para dos periodos futuros, 2015-2039 y 2075-2099 (Cavazos *et al.*, 2013). La base de datos histórica utilizada fue la de CRU TS3.1 (Harris *et al.*, 2014), la cual se encuentra a una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. Todos los GCM considerados se interpolaron bilinealmente a dicha resolución.

En el periodo cercano casi no se observaron diferencias entre las proyecciones con los tres RCP, mientras que para el futuro lejano, el RCP8.5 es el escenario más drástico ya que proyecta incrementos de temperatura de hasta 5.5°C en verano, en la planicie central del país, mientras que bajo los escenarios RCP4.5 y RCP6.0 las proyecciones de temperatura son de incremento alrededor de 3°C , en esa misma región (RMCC, 2015:253). Cabe mencionar que 8.5, 6.0 y 4.5 corresponden al forzamiento radiativo y cuyas unidades son W/m^2 .

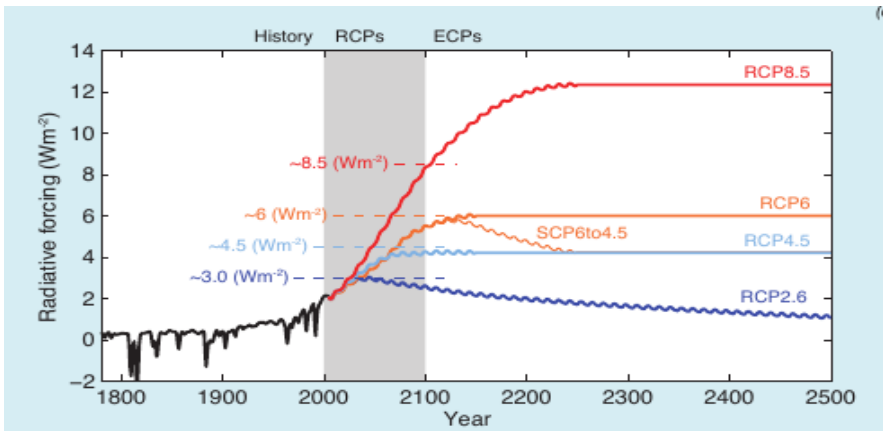
Sin embargo, la obtención de proyecciones climáticas usando reducción de escala dinámica, en México sólo se ha trabajado de forma experimental. Los resultados más convincentes en esta línea vienen de programas como el North American Regional Climate Change Assessment Program (NARCCAP, Mearns *et al.*, 2009) y el North American COordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX, Martynov *et al.*, 2013), o bien, de productos con modelos climáticos regionales, tal como el PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies, Jones *et al.*, 2004) del UK Hadley Center. Una discusión más extensa de los programas NARCCAP y CORDEX se puede encontrar en Mearns *et al.*, 2014 (RMCC, 2015:254).

Las proyecciones climáticas derivadas directamente de simulaciones de GCM se han venido utilizando a partir del Primer Informe del IPCC en 1990. Desde entonces, las simulaciones ya estimaban

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

condiciones más cálidas y secas para México, aunque con un mayor grado de incertidumbre, especialmente en precipitación. En general, ese mismo patrón esperado para México (más cálido y más seco) se ha conservado a lo largo de las diferentes proyecciones climáticas de los cinco diferentes reportes del IPCC (RMCC, 2015:255).

Figura 8. Evolución temporal del forzamiento radiativo, por los escenarios RCP.



Fuente: *Climate Change 2013: The physical science basis, Contribution of Working Group I to AR5, IPCC 2013.*

Con base en esta información y mediante estos escenarios se requiere generar aquellos que sean representativos de la región, en particular para la cuenca del río Usumacinta.

Conclusiones

Los sistemas causantes de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta son los frentes fríos, huracanes y ondas tropicales modulados por la ZITC, el Jet Subtropical y, principalmente, por el ENSO, componente de la variabilidad natural.

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

En consecuencia, se menciona el proceso de generación de escenarios requerido para aplicar en dicha cuenca, a fin de dimensionar los posibles cambios futuros bajo la otra componente: cambio climático. A escala estatal existe información generada con los nuevos escenarios del IPCC, mientras que el ámbito local todavía se tiene que atender. Por otro lado, se ha presentado la precipitación en la región como actor principal, desde el punto de vista climático, ya que deriva a uno de los problemas preponderantes en la región: las inundaciones, problema que involucra otros factores como es el cambio de uso de suelo (ambiental, además de la componente social), fuera del alcance de este capítulo.

Bibliografía

- Arreguín-Cortés, F. I. *et al.* (2014). "Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010", *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. V, núm. 3, mayo-junio, pp. 5-32.
- Carabias, J., Zorrilla, M., Escobedo, A. H., Gallardo, A., Rodríguez, Y., Fernández, A. I., Charruau, P., Martínez, M. y Rodríguez, A. (2015). *Diagnóstico integral de la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco*. Informe técnico. Proyecto TAB-2012-C28-194316. *Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social*. Resumen ejecutivo, CCGSS-Conacyt.
- Cavazos, T., Salinas, J., Martínez, B., Colorado, G., De Grau, P., Prieto, R. y Bravo, M. (2013). *Actualización de escenarios de cambio climático para México, como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional*. Informe final del proyecto al Inecc.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2014). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía en el Consejo de Cuenca de los Ríos Grijalva y Usumacinta*.
- Gama, L. *et al.* (2010). "Floods in Tabasco, Mexico: History and perspective", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 133, Floods Recovery, Innovation and Response II, pp. 25-33. DOI: 10.2495/FRIAR100031
- Giorgi, F., y Mearns, L. O. (2002). "Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the Reliability Ensemble Averaging (REA) method", *J. Clim.*, 15, pp. 1141-1158.
- Harris, I., Jones, P., Osborn, T., and Lister, D. (2014). "Updated high resolution grids of monthly climatic observations-the CRU TS3.10 Dataset". *International Journal of Climatology*, 34, 3. DOI: 10.1002/joc.3711.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2007). *Impactos del cambio climático en los recursos hídricos de México*, IMTA, Jiutepec.
- Instituto Nacional de Ecología (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*, Informe final.
- IPCC (2012). "Resumen para responsables de políticas". En *Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*, C. B. Field, V. Barros, T. E. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (Eds.). Informe especial de los Grupos de Trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, pp. 1-19.

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

- IPCC (2013). "Resumen técnico". En *Cambio climático 2013. Bases físicas*, Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, L. V. Alexander, S. K. Allen, N. L. Bindoff, F. M. Bréon, J. A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J. M. Gregory, D. L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G. A. Meehl, I. I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L. D. Talley, D. G. Vaughan, and S. P. Xie (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- Jones, R. G., Noguer, M., Hassell, D. C., Hudson, D., Wilson, S. S., Jenkins, G. J., and Mitchell, J. F. B. (2004). *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*, Met Office Hadley Center, Exeter, UK, 40 pp.
- Landa, R., Magaña, V. and Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*, Semarnat/CCA-UNAM, México.
- Magaña, V., J. L. Pérez y C. Conde (1998). "El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur y sus impactos en México", *Revista Ciencias*, 51, julio-septiembre, 14-18 pp.
- Magaña, V., Vázquez, J. L., Pérez, J. L., and Pérez, J. B. (2003), "Impact of El Niño on precipitation in México", *Geofísica Internacional*, vol. 42, Núm. 3, pp. 313-330.
- Magaña, V. (Editor) (2004). *Los impactos del Niño en México*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México-Secretaría de Gobernación, México, 229 pp.
- Martynov, A., Laprise, R., Sushama, L., Winger, K., Šeparović, L., and Dugas, B. (2013). "Reanalysis-driven climate simulation over CORDEX North America domain using the Canadian Regional Climate Model, version 5: model performance evaluation", *Climate Dynamics*, 41, pp. 2973-3005.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Mearns, L. O., W. J. Gutowski, R. Jones, L. Y. Leung, S. McGinnis, A. M. B. Nunes, and Y. Qian (2009). "A regional climate change assessment program for North America, EOS, vol. 90, No. 36, September, pp. 311-312.
- Mearns, L. O., Bukovsky, M. S., Pryor, S. C., y Magaña, V. (2014). "Downscaling of climate information". In G. Ohring (Ed.), *Climate Change in North America*, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 201-250, doi: 10.1007/978-3-319-03768-4.
- 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: *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*, vol. 2, Martínez, P. y Aguilar, A. (Eds.), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, pp. 11-21.
- Montero, M. J., Martínez, J., Castillo, N. I. y Espinoza, B. E. (2010). "Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima". En *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*, P. Martínez y C. Patiño (Eds.), IMTA, Jiutepec, pp. 39-63.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2017), "Impacts of El Niño and La Niña on the hurricane season". Climate.gov, Science & information for a climate-smart nation. URL:<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/impacts-el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-hurricane-season>. Consulta: julio, 2017.
- PEACC (2011). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco*, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco, Tabasco.

Visión climática de la precipitación en la cuenca del río Usumacinta

Reporte Mexicano de Cambio Climático (RMCC) (2015). *Bases científicas. Modelos y modelación*, vol. I. Grupo I, México.
Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua (SMN/Conagua) (2017). URL: <http://smn.cna.gob.mx>.
Consulta: 2 de febrero y 24 de abril, 2017.



Deforestación en la cuenca
del Usumacinta

Fotografía
Antonino García García

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

*Lorenzo Armando Aceves Navarro,
Benigno Rivera Hernández, Agrícola Arrieta Rivera,
José Francisco Juárez López,
Jesús Manuel Méndez Adorno y Carlos Ramos Álvarez*

Resumen

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) reporta que la temperatura promedio diaria anual global se ha elevado en 0.74 °C en los últimos cien años, y que ha tenido un incremento uniforme de 0.13 °C por década desde 1956. Por su parte, el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (UNEP, por sus siglas en inglés), reporta que la precipitación global terrestre se ha incrementado en aproximadamente 2% desde los inicios del siglo XX. Señalan que este incremento es variable en el tiempo y en el espacio. Poco se ha investigado con datos observados a escala regional para ver si existe alguna tendencia de cambio en la temperatura y la precipitación que verifique lo que el IPCC y el UNEP afirman. Así, el objetivo del presente estudio fue determinar para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, si los datos meteorológicos observados registran alguna tendencia de cambio en la temperatura y la precipitación para, con ello, determinar el sentido y magnitud del cambio en la subcuenca. Los resultados que se muestran en las figuras y cuadros indican que, durante el periodo estudiado, sí existe evidencia de tendencias

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

de cambio respecto al tiempo para las variables analizadas. Se encontró, además, que las anomalías y tendencias de cambio no son uniformes, sino opuestas, para las diferentes variables y localidades estudiadas.

Palabras clave: anomalías climáticas, temperatura, precipitación.

Introducción

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) estableció que el calentamiento global es un hecho (IPCC, 2013). Según este panel, hoy en día, hay una confianza del 90% de que el calentamiento global observado es debido al aumento de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antrópico y que el incremento de la temperatura global ha sido de 0.74° C en los últimos cien años (IPCC, 2007a). Asimismo, el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) reporta que la precipitación global terrestre se ha incrementado en aproximadamente 2%, desde inicios del siglo XX. Señalan, además, que este incremento es variable en el tiempo y en el espacio (UNEP, 2007).

El cambio climático altera los patrones de temperatura, nubosidad y precipitación y, como consecuencia, altera también los patrones de evapotranspiración y de humedad disponible en el suelo (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2011). Estos cambios en los patrones climáticos, tendrán profundos efectos en el crecimiento de las plantas terrestres y productividad en el futuro próximo (Attipalli *et al.*, 2010). El incremento en la temperatura global propicia en muchas regiones aumento de la evaporación (Woodhouse *et al.*, 2010) y evapotranspiración (Topete *et al.*, 2014) que causan la disminución del periodo de

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

crecimiento en los cultivos (Ruiz *et al.*, 2000; Zarazúa *et al.*, 2011) y, por ende, de los rendimientos (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011).

El Instituto Nacional de Ecología (INE), hoy Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de México, al analizar las consecuencias que el calentamiento global pudiera causar a escalas local y regional, se dio a la tarea de generar escenarios de cambio climático en el ámbito regional para diferentes escenarios y horizontes de tiempo. Para ello, generó mapas de la república mexicana sobre anomalías e incertidumbres para temperatura y precipitación, en los horizontes 2020, 2050 y 2080 (Magaña-Rueda, 2009; Conde y Gay, 2008). A fin de llevar a cabo lo anterior, utilizaron 23 modelos ensamblados de Circulación General de la Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCM, por sus siglas en inglés) que toman en consideración los factores forzantes que determinan los posibles escenarios futuros, económicos y medioambientales. Los factores forzantes son: población, economía, tecnología, energía, uso del suelo y agricultura.

Los mapas resultantes de la aplicación de los AOGCM muestran que para finales del siglo XXI la temperatura en la subcuenca Usumacinta puede incrementarse desde 1.7 a 2.6° C en el estado de Tabasco para el escenario más favorable (B1) y el menos favorable (A2), respectivamente. De la misma manera, reportan que la precipitación total anual no cambiaría bajo ningún escenario ni horizonte de tiempo.

En la actualidad, poco se ha investigado sobre el cambio climático local con datos climatológicos observados que permitan determinar si existe evidencia de una tendencia de cambio en la temperatura y la precipitación a escala regional y comparar lo reportado por el IPCC (2007a) y el UNEP (2007). El presente estudio se enfocó en determinar si los datos meteorológicos observados durante

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

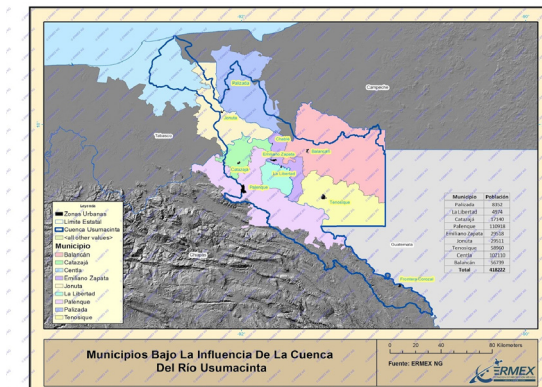
el periodo 1948-2007 registran alguna tendencia de cambio en la temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio diaria anual y la precipitación total anual. Y, de existir dicho cambio, determinar el sentido y magnitud del mismo, a escala de los municipios del estado de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

La subcuenca Usumacinta es una de las cinco subcuencas que integran la cuenca del río Usumacinta que, geográficamente, se localiza entre Guatemala y México. En México, la subcuenca Usumacinta se integra por nueve municipios de los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche (figura 1). Los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta son: Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta y Centla; los municipios del estado de Chiapas que integran esta subcuenca son: Palenque, Catazajá y La Libertad, y el municipio de Campeche que integra esta subcuenca es Palizada (figura 1).

Figura 1. Municipios de Tabasco, Chiapas y Campeche que integran la subcuenca Usumacinta, de la cuenca del río Usumacinta. (Tomado de Ermex-Spot, 2017).



Fuente: ERMEX-SPOT, 2017.

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

La subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta, se ubica en la región sur y sureste del estado de Tabasco, entre las latitudes 17°25' y 18°30' N y las longitudes 91.00' y 93°00' O. Limita al norte con el Golfo de México y el estado de Campeche, al sur con Guatemala, al oeste con el estado de Chiapas y al oeste con el estado de Campeche (figura 1).

Estaciones meteorológicas seleccionadas

Se eligieron seis estaciones meteorológicas ubicadas en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta. Los datos diarios de temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$), temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$) y precipitación (PT) fueron extraídos de la base de datos contenida en el programa *Eric III*, v. 2.0, que cuenta con la información del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (IMTA, 2009). En el cuadro 1 se muestran las seis estaciones meteorológicas selectas de Tabasco, que se utilizaron para sustentar el presente análisis de tendencia de cambio climático en la subcuenca Usumacinta del río Usumacinta. Es importante señalar que se asume que los datos reportados por el Servicio Meteorológico Nacional son correctos.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas representativas de los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta y sus coordenadas geográficas.

Clave de la estación	Nombre de la estación	Municipio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (msnm)
27004	Boca del Cerro	Tenosique	17°26'58"	91°29'35"	14
27012	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	17°44'31"	91°45'47"	26
27028	Jonuta	Jonuta	18°05'31"	92°08'20"	6
27040	San Pedro	Balancán	17°47'30"	91°09'30"	44
27046	Tenosique	Tenosique	17°28'24"	91°25'36"	19
27050	Tres Brazos	Centla	18°23'03"	92°26'00"	2

Fuente: IMTA, 2009.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Procedimiento en el análisis de los datos

Para el análisis de la posible tendencia en la temperatura y precipitación en las seis localidades selectas, se obtuvieron los datos diarios ($T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$ y PT), para los periodos de tiempo que se muestran en el cuadro 2. Los datos extraídos en formato de texto se transformaron a hojas de *Excel* para su manejo operativo. Con los datos diarios de $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ se calculó la temperatura promedio diaria, mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$T_{\text{med}} = \frac{(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})}{2} \quad (1)$$

Dónde:

T_{med} = Temperatura promedio diaria (°C)

A continuación, se obtuvo la precipitación total anual (PT) para cada año de registro, así como el promedio diario anual de la $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$ y T_{med} . Acto seguido, se obtuvieron las anomalías de cada variable anterior, al restar a los valores de cada año de registro, el promedio anual de todos los años del registro de dichas variables. Con los datos resultantes de este análisis se generaron las gráficas correspondientes para cada una de las anteriores variables, que muestran la variación temporal de las anomalías y sus líneas de tendencia respecto al tiempo.

Con base en las tendencias observadas en las anomalías en cada estación meteorológica, se generaron los cuadros que se muestran y discuten en el cuerpo del presente documento. Sólo se presentan, por cuestiones de espacio, las gráficas más significativas, a manera de ilustración.

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

Cuadro 2. Clave y nombre de la estación, municipio y número de años y periodo de registro de las estaciones meteorológicas representativas de los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Clave de la estación	Nombre de la estación	Municipio	Años y periodo de registro
27004	Boca del Cerro	Tenosique	60 (1948-2007)
27012	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	33 (1963-2007)
27028	Jonuta	Jonuta	40 (1950-2006)
27040	San Pedro	Balancán	57 (1948-2007)
27046	Tenosique	Tenosique	42 (1955-2000)
27050	Tres Brazos	Centla	58 (1948-2006)

Fuente: IMTA, 2009.

Resultados y discusión

Se utilizaron datos de los resultados de cada localidad selecta para ejemplificar de manera gráfica las tendencias para las variables bajo estudio ($T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$, T_{med} y PT) a nivel promedio anual. Estos resultados gráficos se muestran en las figuras de la 2 a la 7. Asimismo, el tipo de tendencia y los valores de incremento o decremento de las variables en el tiempo se muestran en los cuadros 3 a 6. Los resultados evidencian claramente la existencia de tendencias de cambio para cada una de las variables bajo estudio.

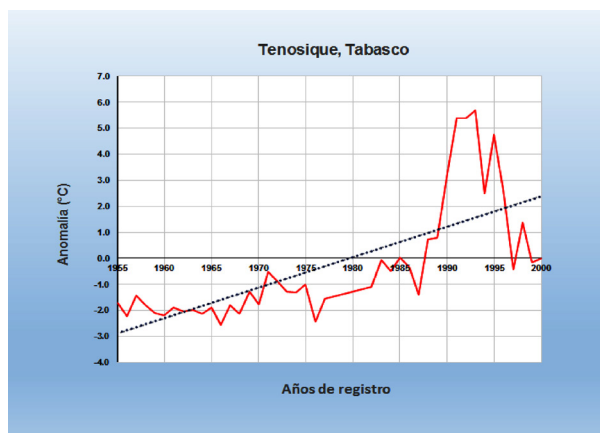
Anomalías y tendencia en la temperatura máxima promedio diaria anual

La figura 2 muestra que durante el periodo de 1955 a 2000 en la estación de Tenosique, la temperatura máxima promedio diaria anual tuvo una tendencia positiva en la anomalía, la que se incrementó desde - 3.1 °C hasta + 2.4 °C. Lo anterior equivale a un incremento de 5.5 °C durante ese periodo. Asimismo, en el

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

cuadro 3 se puede apreciar que excepto Boca del Cerro, en las cinco estaciones restantes las tendencias en las anomalías fueron positivas y fluctuaron entre $+ 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+ 5.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Lo relevante de el cuadro, es que en el mismo municipio de Tenosique ocurrieron anomalías de tendencias opuestas, cuyo rango de variación equivale a $6.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Mientras en Boca del Cerro la tendencia es negativa con $- 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, en Tenosique la tendencia es positiva con $+5.5$ grados centígrados.

Figura 2. Anomalía en la temperatura máxima promedio diaria anual y su tendencia, en la estación meteorológica de Tenosique, Tabasco, durante el periodo 1955-2000.



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 3 también se puede apreciar que la estación de Tenosique fue donde más se ha incrementó la temperatura máxima ($+ 5.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y que en la estación de Emiliano Zapata fue donde se incrementó menos ($+ 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Se enfatiza así, que en la subcuenca Usumacinta ocurren en el ámbito local tendencias opuestas en la temperatura máxima promedio diaria anual. Situación que es importante recalcar,

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

pues estos cambios locales no se aprecian bien cuando se estudia el calentamiento o cambio climático global, debido a la escala utilizada. También, debe enfatizarse que los incrementos observados en el cuadro 3 son muy elevados.

Cuadro 3. Tendencia en las anomalías observadas en la temperatura máxima promedio diaria anual y su incremento y/o decremento, durante los periodos estudiados, en las estaciones meteorológicas representativas de los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Clave de la estación	Nombre de la estación	Tendencia en las anomalías de la temperatura máxima (°C)	Incremento y/o decremento en la temperatura máxima promedio diaria anual (°C)
27004	Boca del Cerro	Negativa	- 0.5
27012	Emiliano Zapata	Positiva	+ 0.8
27028	Jonuta	Positiva	+ 2.8
27040	San Pedro	Positiva	+ 0.9
27046	Tenosique	Positiva	+ 5.5
27050	Tres Brazos	Positiva	+ 1.5

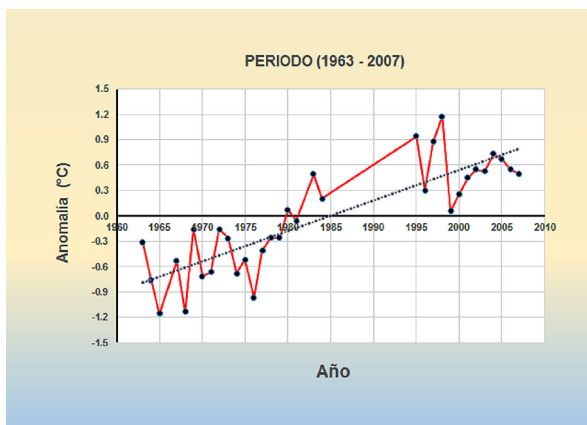
Fuente: Elaboración propia.

Anomalías y tendencia en la temperatura mínima promedio diaria anual

La figura 3 muestra una clara tendencia positiva en la anomalía de la temperatura mínima promedio diaria anual, en el área de influencia de la estación meteorológica de Emiliano Zapata, para el periodo 1963-2007. También, muestra que las anomalías pasaron de valores negativos (décadas de los años sesenta a los años setenta) a valores positivos (1980 a 2007) durante ese periodo.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 3. Tendencia de cambio de la temperatura mínima promedio diaria anual en el área de influencia en la estación meteorológica de Emiliano Zapata, Tabasco, durante el periodo 1963-2007.



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 4 se hace evidente que todas las tendencias en la temperatura mínima promedio diaria anual fueron positivas, con valores que fluctuaron entre + 0.3 °C y + 1.7 °C, siendo la estación de Emiliano Zapata la que mostró el mayor incremento (+ 1.7 °C).

Cuadro 4. Tendencia en las anomalías observadas en la temperatura mínima promedio diaria anual y su incremento, durante los periodos estudiados, en las estaciones meteorológicas representativas de los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Clave de la estación	Nombre de la estación	Tendencia en las anomalías de la temperatura mínima (°C)	Incremento en la temperatura mínima promedio diaria anual (°C)
27004	Boca del Cerro	Positiva	+ 0.3
27012	Emiliano Zapata	Positiva	+ 1.7
27028	Jonuta	Positiva	+ 0.5
27040	San Pedro	Positiva	+ 0.8
27046	Tenosique	Positiva	+ 0.7
27050	Tres Brazos	Positiva	+ 1.2

Fuente: Elaboración propia.

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

Al comparar los valores de los cuadros 3 y 4, se puede apreciar que en la estación de Tenosique las temperaturas máximas se incrementaron casi ocho veces más que las mínimas. Lo contrario ocurre con la estación de Emiliano Zapata, donde las temperaturas mínimas se incrementaron casi dos veces más que las máximas. Es decir, que en Tenosique los días se han venido calentando mucho más que las noches, mientras que en Emiliano Zapata son las noches las que se han venido calentando más que el día.

Lo encontrado en términos generales en la subcuenca Usumacinta, muestra que la temperatura máxima predominantemente se ha incrementado más que la temperatura mínima. Estos resultados contradicen lo que el IPCC ha sostenido a escala global, donde señala que el incremento en la temperatura promedio se debe en gran parte a los incrementos en las temperaturas mínimas o nocturnas (IPCC, 2003). Esto da una pista de lo complejo de las tendencias a escala local cuando se comparan con lo que se indica a en los ámbitos de país y/o global.

Anomalías y tendencia en la temperatura promedio diaria anual

Las figuras 4 y 5 muestran que la tendencia en la temperatura promedio diaria anual en el área de influencia de la estaciones de Emiliano Zapata y San Pedro fue claramente positiva durante los periodos 1963-2007 y 1948-2007, respectivamente.

En el cuadro 5 se muestra que en toda la subcuenca Usumacinta las anomalías en la temperatura promedio diaria anual fueron positivas, y que fluctúan entre + 0.2 °C para el área de influencia de la estación de Boca del Cerro y + 3.4 °C para la de Tenosique. El incremento en la temperatura media diaria anual en el área de influencia de la estación de Tenosique está fuertemente influenciado por los incrementos observados en la temperatura

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

máxima (cuadro 3). De continuar la tendencia observada en el incremento en la temperatura media diaria anual, excepto en Boca del Cerro, en el resto de las estaciones seleccionadas se tendrían incrementos muy elevados para finales de siglo, que superarían los 2.3 °C; llegando incluso a los 3.9 °C y 7.0 °C en Jonuta y Tenosique, respectivamente. Bajo este escenario de incrementos, algunas especies vegetales y animales no podrán adaptarse a las nuevas condiciones; incluso algunas de distribución restringida no podrán ampliar su hábitat, tal y como lo reportan Arriaga y Gómez (2005).

Cuadro 5. Tendencia en las anomalías observadas en la temperatura promedio diaria anual y su incremento, durante los periodos estudiados, en las estaciones meteorológicas representativas de los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Clave de la estación	Nombre de la estación	Tendencia en las anomalías de la temperatura promedio diaria anual (°C)	Incremento en la temperatura promedio diaria anual (°C)
27004	Boca del Cerro	Positiva	0.2
27012	Emiliano Zapata	Positiva	1.3
27028	Jonuta	Positiva	1.7
27040	San Pedro	Positiva	1.7
27046	Tenosique	Positiva	3.4
27050	Tres Brazos	Positiva	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Debe enfatizarse que los incrementos observados que se muestran en el cuadro 5 son muy elevados y significativos, ya que superan el incremento histórico promedio reportado por el IPCC (2003) para el resto del mundo. Es decir, que exceptuando la estación de Boca del Cerro, para el resto de las estaciones de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, el proceso de calentamiento se ha venido acelerando. Este calentamiento observado equivale a

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

lo proyectado para mediados y finales de siglo, de acuerdo con los diferentes escenarios propuestos por el IPCC (IPCC, 2007b; IPCC, 2013), y por lo reportado por Magaña-Rueda (2009) y Conde y Gay (2008).

Figura 4. Anomalía en la temperatura promedio diaria anual y su tendencia, en la estación meteorológica de Emiliano Zapata, Tabasco, durante el periodo 1963- 2007.

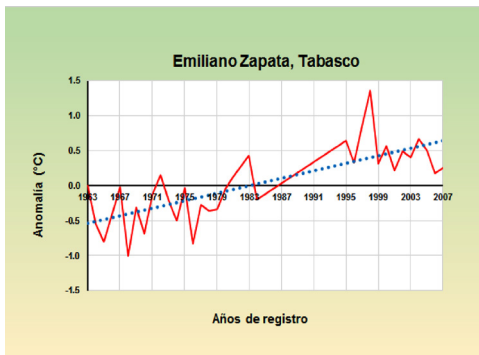
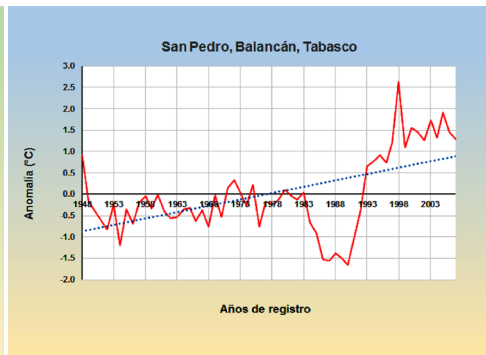


Figura 5. Anomalía en la temperatura promedio diaria anual y su tendencia, en la estación meteorológica de San Pedro, Balancán, Tabasco, durante el periodo 1948-2007.



Fuente figuras 4 y 5: Elaboración propia.

Anomalías y tendencias en la precipitación total anual

Es importante señalar que las anomalías para la precipitación se reportan en porcentaje y son las desviaciones respecto a la media (IPCC, 2007).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 6. Anomalía en la precipitación total anual y su tendencia, en la estación meteorológica de San Pedro, Balancán, Tabasco, durante el periodo (1948-2007).

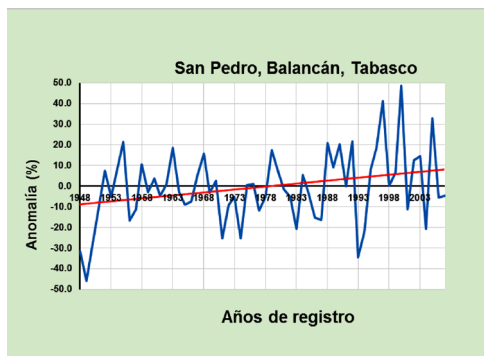
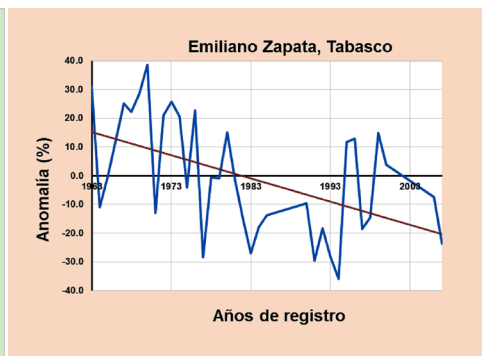


Figura 7. Anomalía en la precipitación total anual (%) y su tendencia, en la estación de Emiliano Zapata, durante el periodo (1963-2006).



Fuente figuras 6 y 7: Elaboración propia.

En las figuras 6 y 7 se puede observar que la tendencia en las anomalías de la precipitación total anual en el área de influencia de las estaciones de San Pedro y Emiliano Zapata es opuesta; mientras que en San Pedro la tendencia de la anomalía es positiva y en Emiliano Zapata es negativa. En el cuadro 6 se muestra que mientras en San Pedro la precipitación total anual se incrementó 281.9 mm, en Emiliano Zapata disminuyó en 750.5 mm para los periodos de estudio analizados (cuadro 6).

El cuadro 6 también muestra que la tendencia en las anomalías de la precipitación total anual en el área de influencia de las estaciones de Tres Brazos y Emiliano Zapata tienen una anomalía negativa con intervalos que fluctúan entre + 0.59% y -0.57% para Tres Brazos, y entre + 18.0% a - 19.6% para Emiliano Zapata. Estos valores significan que en el área de influencia de Tres Brazos

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

Cuadro 6. Tendencia de intervalo de la anomalía (%) y cambio en la precipitación total anual (mm) observado, durante los periodos estudiados, en las estaciones meteorológicas representativas de los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Clave de la estación	Nombre de la estación	Tendencia en las anomalías de la precipitación	Intervalo de la anomalía en la precipitación (%)	Cambio en la precipitación total anual durante el periodo (mm)
27004	Boca del Cerro	Positiva	- 2.3 a + 2.1	+ 105.1
27012	Emiliano Zapata	Negativa	+ 18.0 a - 19.8	- 750.5
27028	Jonuta	Positiva	- 4.9 a + 5.1	+ 196.9
27040	San Pedro	Positiva	- 10.0 a + 7.8	+ 281.9
27046	Tenosique	Positiva	- 4.0 a - 1.5	+ 51.3
27050	Tres Brazos	Negativa	+ 0.59 a - 0.57	- 19.3

Fuente: *Elaboración propia.*

prácticamente la cantidad de precipitación total anual no cambió durante el periodo de tiempo estudiado (- 19.3 mm) y concuerda con lo reportado por el UNEP (2007); mientras que para la estación de Emiliano Zapata, las anomalías negativas tienen el valor más elevado de toda la subcuenca Usumacinta y superan lo reportado por el UNEP (2007) y lo proyectado en los escenarios desarrollados por Conde y Gay (2008) y Magaña-Rueda (2009), para los horizontes 2050 y 2100.

En las cuatro estaciones que muestran una tendencia positiva en las anomalías sus valores no superan el 10% y, exceptuando San Pedro, sus valores son similares a lo reportado por el UNEP (2007) y a lo proyectado por Conde y Gay (2008) y Magaña-Rueda, (2009), para los horizontes 2050 y 2100.

Conclusiones

En el ámbito de la subcuenca Usumacinta, las anomalías mostraron tendencias opuestas en la temperatura máxima promedio diaria anual, así como en la precipitación total anual. En cambio, las anomalías en la temperatura mínima y temperatura promedio diaria anual siempre fueron positivas. En términos generales y para los periodos estudiados, la subcuenca Usumacinta se ha venido calentando, principalmente, por los incrementos en la temperatura máxima. En cambio, las anomalías en la precipitación total anual mostraron tendencias opuestas con incrementos y decrementos significativos para los periodos analizados. Todo lo anterior resalta la importancia de seguir estudiando las tendencias del cambio climático en el ámbito local, ya que los escenarios proyectados por el IPCC y el Inecc, con los modelos actuales, no las registran ni pueden reportar esa variabilidad existente por su escala de estudio, donde las tendencias son opuestas y contrastantes en distancias relativamente muy cortas.

Bibliografía

- Arriaga, L. y Gómez, L. (2005). *Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México*. Texto completo de acceso libre, URL: www.inec.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/arriaga.html.
- Attipalli, R. R.; Girish, K. R. and Agepati, S. R. (2010). "The impact of global elevated CO₂ concentration on photosynthesis and plant productivity", *Current Sci.* 99(1):46-57.
- Conde, A. A. C. y Gay, G. C. (2008). *Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 104 pp.

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

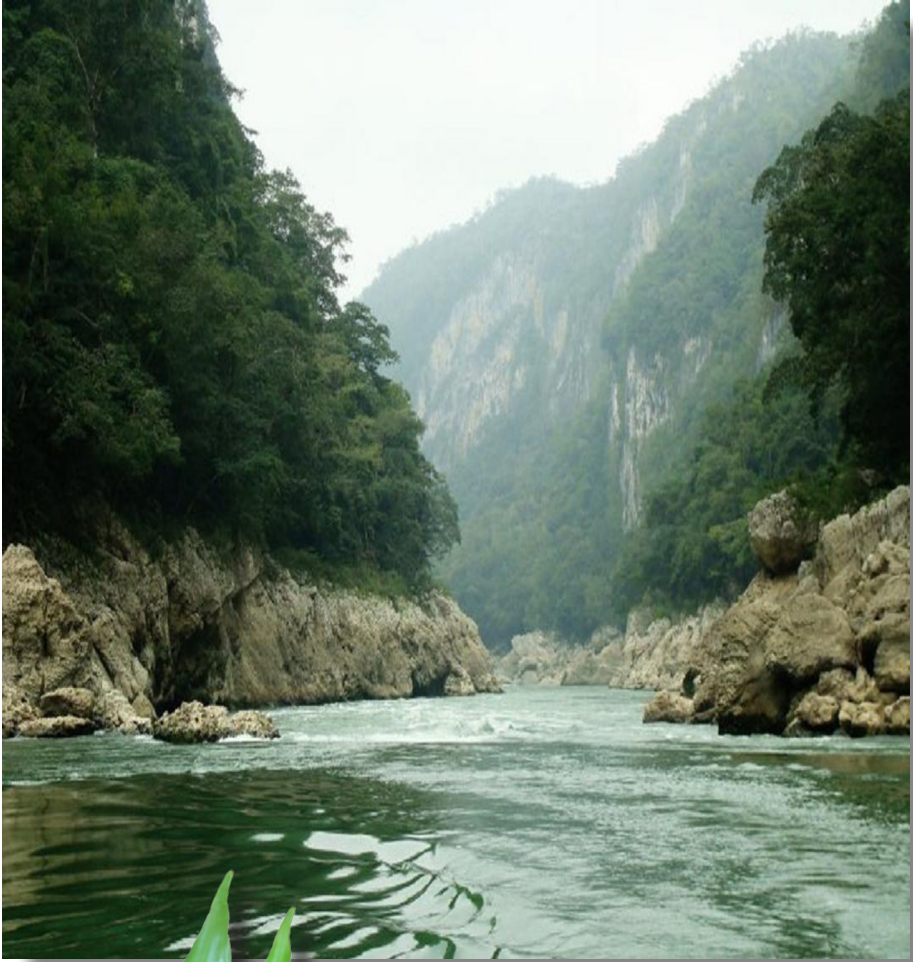
- Ermex-Spot (Estación de Recepción México) (2017). *Cuenca del Río Usumacinta*. Texto completo de acceso libre, URL: www.ermexnuevageneneracion.blogspot.mx/2013/cuenca-del-rio-usumacinta.html. Última consulta: 10 de abril de 2017.
- Hatfield, J. L. Boote, K. J.; Kimball, B. A.; Ziska, L. H.; Izaurralde, R. C.; Ort, D.; Thomson, A. M. and Wolfe, D. (2011). "Climate impacts on agriculture: implications for crop production", *Agron. J.*, 103:351-370.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) (2009). *ERIC III. Extractor rápido de información climatológica v.2*, Jiutepec, Morelos.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013). *Climate Change 2013. The physical science basis*. Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. Stocker, F. T.; Qin, D.; Plattner, K. G.; Tignor, M. B. M.; Allen, K. S.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. and Midgley, M. P. (Eds.). Switzerland, 27 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007a). *Climate Change 2007: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007b). "Summary for policymakers". In: *Climate Change 2007. The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Panel on Climate Change. Solomon, M., D. Qin, M. Manning, Z. Enhen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 23 pp.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2003). *Good practice guidance for land use, land use change and forestry*, Ed. Jim Gytarsky, Institute for Global Environment Strategies.
- Magaña-Rueda, V. O. (2009). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM-Itesm-INE, 82 pp.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Íñiguez, C. M. y Montero, M. M. J. (2011). "Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos", *Agrociencia*, 45: 1-11.
- Ruíz, C. J. A.; Medina, G. G.; Ramírez, D. J. L.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Manríquez, O. J. D.; Zarazúa, V. P.; González, E. D. R.; Díaz, P. G. y De la Mora, O. C. (2011). "Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México", *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 3(2):309-323.
- Ruíz, C. J. A.; Ramírez, D. J. L.; Flores, M. F. J. y Sánchez, G. J. J. (2000). "Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México", *Fitotecnia*, 23(2):169-181.
- Topete, A. J. P.; Ruiz C. J. A.; Ron P. J.; González E. D. R.; Ramírez O. G. y Durán P. N. (2014). "Utilizando el modelo Newhall para representar el impacto real del cambio climático en la humedad de suelo en Jalisco, México", *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, (10): 1859-1870.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2007). *Global Environment Outlook 4 (GEO-4). Environment of development*. United Nations Environmental Programme. Texto completo de acceso libre, URL: Available at: <http://www.unep.org/geo/geo4.asp>. Última consulta: 5 de junio de 2017.

Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta

- Woodhouse, C. A.; Meko, D. M.; MacDonald, G. M.; Stahle, D. W. and Cook, E. R. A. (2010). "1,200-year perspective of 21st century drought in southwestern North America", *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 107:21283-21288.
- Zarazúa, V. P.; Ruíz, C. J. A.; González, E. D. R.; Flores, L. H. E. y Ron, P. J. (2011). "Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la ciénega de Chapala, Jalisco", *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 3(2):351-363.



Cañón del Usumacinta



Fotografía
Internet, imágenes públicas

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta, un caso de estudio

*Julio Sergio Santana, Martín José Montero Martínez
y Efraín Mateos Farfán*

Resumen

Se presenta la metodología para el cálculo de series de tiempo del Índice Normalizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés, *Standardized Precipitation Index*) a partir de series de tiempo de precipitaciones de puntos específicos o de regiones geográficas completas y, asimismo se define un índice para la comparación de los SPIs en dos subperíodos dentro de la serie de tiempo (Índice Comparativo, o porcentaje de cambio). Se consideran algunas variantes en la selección de las funciones de distribución de probabilidades empleadas para la construcción de los SPIs. Se describen categorías del SPI a partir de diferentes intervalos de valores, y se muestra cómo el índice comparativo permite valorar el comportamiento de esas categorías a lo largo de un período y sobre un espacio geográfico considerado. La metodología presentada, con el índice comparativo incluido, se aplica a datos de precipitación de la cuenca del río Usumacinta registrados entre 1960 y 2008, como caso de estudio para la caracterización del comportamiento histórico de las precipitaciones en dicha cuenca.

Palabras clave: SPI, río Usumacinta, detección de cambio en el clima.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Introducción

El análisis temporal de la precipitación es complicado dada su naturaleza estocástica. Por tal motivo, el índice normalizado de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés, *Standardized Precipitation Index*), ha sido uno de los instrumentos estadísticos predilectos para observar de manera sintética lo que ocurre con la precipitación a lo largo de períodos prolongados de tiempo, de tal modo que incluso la Organización Mundial de Meteorología (WMO, por sus siglas en inglés, *World Meteorological Organization*), lo ha adoptado como uno de los indicadores importantes para analizar lo que acontece con el asunto de la precipitación en una ubicación geográfica determinada. Incluso, esta organización ha generado una guía de usuario para el cálculo e interpretación del SPI (WMO, 2012).

El presente trabajo tiene como caso de estudio la cuenca del río Usumacinta, que de todas las cuencas fronterizas del sur de México es la de mayor extensión y desarrollo hidrológico. 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. La cuenca del río Usumacinta cubre un área de 30 670 km² en México, 42 506 km² en Guatemala y solo 16 km² en Belice (García-García y Kauffer-Michel, 2011). Es interesante notar la diferencia en definiciones de la cuenca del río Usumacinta por parte de las autoridades guatemaltecas y mexicanas. Por ejemplo, para los guatemaltecos la cuenca del Usumacinta (río de monos) ocupa tan solo 2 993.4 km² que van desde Tenosique en Tabasco hasta la desembocadura del río guatemalteco La Pasión. García-García y Kauffer-Michel atribuyen esta incompatibilidad de definición de esta cuenca transfronteriza a posibles aspectos históricos y sociales.

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

Desde antaño, la región del Usumacinta parece haber tenido una importancia mayor desde el punto de vista agrícola (Johnson *et al.*, 2007). Un estudio reciente menciona que, a pesar de ser, en la actualidad, la mayor fuente energía hidroeléctrica e hidrocarburos continentales y costeros en México, y contar con una gran diversidad, la cuenca del Grijalva-Usumacinta es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático: elevación del nivel del mar, huracanes de gran intensidad, e incremento de lluvia e inundaciones (Enriquez *et al.*, 2016). Ese tipo de impactos podría resultar devastador en una zona donde es considerada como las de mayor índice de pobreza en el país.

Lo anterior deja entrever la importancia de realizar estudios climáticos de alta confiabilidad en la zona. Algo de lo más relevante fue un análisis de los índices climáticos en Centroamérica de 1961-2003 (Aguilar *et al.*, 2005). Sus resultados muestran que sobre la cuenca del río Usumacinta se incrementa el número de días y noches cálidas en tanto que disminuyen los días y noches frías. Sin embargo, otros índices relacionados con precipitación (precipitación total, número de días húmedos y extremadamente húmedos) no presentan una señal clara dominante ya que muestran tanto tendencias positivas como negativas (de poca significancia estadística) en la región del Usumacinta. El número de días consecutivos húmedos presenta una leve tendencia a la baja y el número de días consecutivos secos muestra leve tendencia negativa en el sur de la cuenca y positiva en el norte.

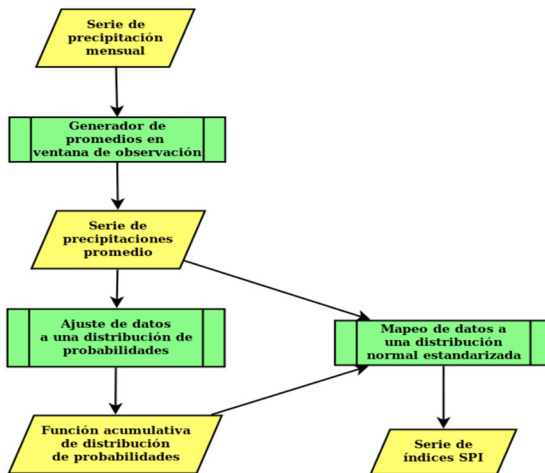
Ante este panorama, el presente trabajo estudia la cuenca Usumacinta (en México), a partir del análisis temporal del SPI, encontrando el cambio potencial de los diferentes niveles de sequía (o inundación) del SPI para dos o más períodos dentro de la serie de tiempo en la zona de estudio.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Determinación del SPI

El índice normalizado de precipitación fue introducido por McKee, Doesken y Kleist (1993). En su artículo mencionan brevemente los pasos requeridos para su generación a partir de una serie de datos de precipitación mensual. Una descripción más detallada de la metodología se puede encontrar en Edwards y McKee (1997), cuya implementación original se desarrolló en los lenguajes de programación C y FORTRAN, y que más adelante se usó como base para la implementación en el lenguaje computacional R por Wheatley (2010). Los pasos de la metodología se pueden describir como tres procesos de transformación de información, mismos que se muestran en la Fig. 1. En las secciones siguientes se describe cada uno de los procesos señalados en la figura.

Fig. 1. Pasos para generación de serie de tiempo de SPIs. Los rectángulos representan procesos o secuencias de acciones, mientras que los romboides representan entradas o salidas a esos procesos.



Fuente: Elaboración propia.

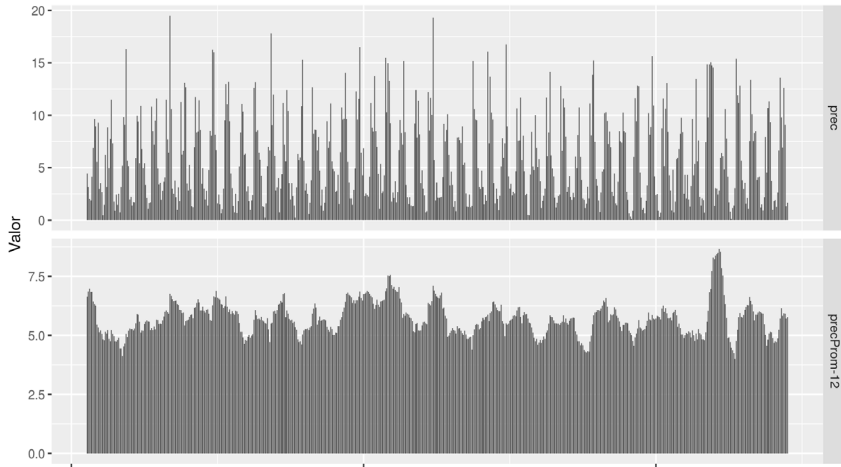
Generación de promedios en ventana de observación

El punto de partida para la generación de índices SPI, es una serie de tiempo de precipitaciones mensuales asociada a una ubicación puntual geográfica específica, o a una región determinada, como pudiera ser una cuenca, un estado, o un municipio. Para cada punto en la serie se abre una ventana de observación de la serie hacia el pasado, consistente en un número determinado de meses anteriores e incluyendo al mes correspondiente al punto en cuestión y se procede a calcular el promedio de las precipitaciones abarcadas por la ventana (promedio corrido). El resultado es una serie de tiempo con los promedios de precipitación calculados. El tamaño de la ventana es arbitrario, pero típicamente se usan ventanas de 3, 6, 12, 24 o 48 meses (McKee, Doesken & Kleist, 1993). En la Fig. 2 se muestra, en su parte superior, la serie de precipitaciones medias mensuales en mm/día, promediadas para toda la parte mexicana de la cuenca del río Usumacinta, y, en su parte inferior, la serie de promedios consecutivos para una ventana de observación de 12 meses, calculados por medio de la operación descrita antes en este párrafo, para el cálculo se incluyó un año previo. Los datos que se usaron para generar la serie inicial de precipitaciones, provienen de la malla desarrollada por el CICESE, a la que se denominará aquí CLICOMg, que se generó a partir de la base de datos climatológica oficial del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y que comprende en su totalidad más de 5000 estaciones. Para la creación de CLICOMg se aplicaron antes algunas pruebas de calidad de datos y luego, éstos se interpolaron a una malla regular mediante el método *Synographic Mapping System* (Shepard, 1984). La base de datos resultante registra precipitaciones, temperaturas superficiales mínimas y máximas, diarias, con una resolución espacial de $1/8^\circ$, para todo México, desde el año 1960 hasta el 2008 (Zhu y

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Lettenmier, 2007; Muñoz-Arriola *et al.*, 2009). La plataforma fue desarrollada por el CICESE y se puede visualizar en la liga <http://clicom-mex.cicese.mx/malla>.

Fig. 2. Serie de precipitaciones medias mensuales (mm/día) y promedios a 12 meses, observados en la cuenca del río Usumacinta.



Fuente: *Elaboración propia.*

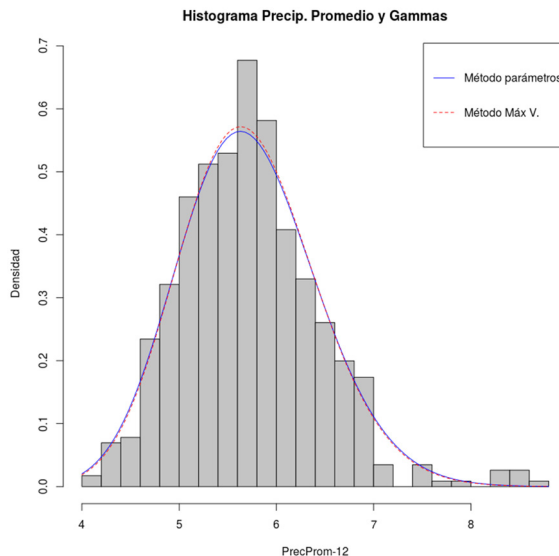
Aunque la base de datos en malla CLICOMg, registra desde el año 1960 hasta el año 2008, las series mostradas en la Fig. 2, van desde el año 1961 hasta el año 2008, ya que los datos del año 1960 se utilizaron solamente para el cálculo de los promedios a partir del primer mes del año 1961.

Es importante aclarar que aunque lo más deseable para el análisis climático es trabajar con series homogeneizadas de estaciones climatológicas, el hecho de trabajar aquí con una base de datos interpolada nos da una primera aproximación del comportamiento general y espacial de la climatología en la cuenca de estudio.

Ajuste de datos a una distribución de probabilidades

La serie de tiempo de precipitaciones promedio calculada para una ventana de observación determinada, se debe ajustar a una distribución de probabilidades. En el artículo original de McKee, Doesken y Kleist, (1993), se sugiere la distribución de probabilidades Gamma. Aunque el tema de cuál es el tipo de distribución de probabilidades que mejor representa las precipitaciones es todavía un asunto de discusión abierta (Hanson & Vogel, 2012), la selección de la distribución continua Gamma de dos parámetros, manifiesta algunas ventajas representativas, específicamente para el cálculo de los índices SPI, que han sido señaladas en otra parte (Guttman, 1999). De este modo, para ejemplificar aquí el procedimiento se empleará dicha distribución.

Fig. 3. Histograma y curvas de densidades Gamma para precipitaciones promedios de la Fig. 2.

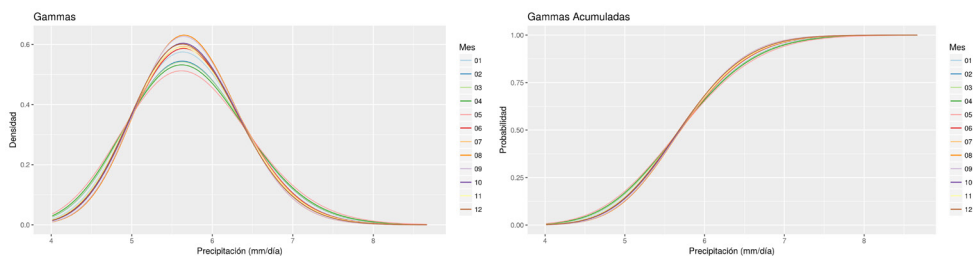


La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

El ajuste a una distribución Gamma, consiste en encontrar, a partir de los datos, los dos parámetros, forma y escala, que producen la curva de densidades o distribuciones más cercana a los datos. En Santana, J.S. y Mateos, E., (2014, pp. 105-123), se describen dos métodos para encontrar dichos parámetros: uno de transformación de parámetros, y el otro, conocido como método de la máxima verosimilitud (*maximum likelihood method*), cuya explicación más detallada se puede encontrar en Walpole *et al.* (2012, pp. 307-312), y en Venables & Ripley (2002). La Fig. 3, muestra el histograma de densidades de la serie de precipitaciones promedio (Fig. 2), junto con dos curvas de distribución Gamma ajustadas por los dos métodos mencionados anteriormente. Se puede apreciar que la diferencia entre ambos ajustes, a la función de distribución, es mínima.

El ajuste de los datos a una función de densidad de probabilidades no se hace sobre su totalidad, sino sobre una estratificación de ellos por mes (Guttman, 1999). De esa manera el ajuste en realidad resulta en una familia de doce funciones, una por mes, cuya aplicación a una precipitación particular dependería, además, del mes en el que dicha precipitación se ha presentado (Figura 4, izquierda).

Fig. 4. Ajuste de los datos de precipitación promediada de la Fig. 2 a doce funciones de densidad y de distribución de probabilidades.



Fuente: Elaboración propia.

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

A partir de la integración de las curvas de densidad de probabilidades, se obtuvieron las curvas acumuladas o funciones de distribución de probabilidades (Fig. 4b, derecha). Estas funciones de distribución de probabilidades o de densidades acumuladas, son las que se utilizan para el cálculo del SPI. Por ejemplo, el gráfico de la izquierda de la Fig. 5, se ha aislado la curva de distribución de probabilidades Gamma correspondiente al 60 mes (junio) ajustada para los datos de la cuenca del río Usumacinta, y ahí, para una precipitación de 6.3 mm/día, con dicha función se obtiene una probabilidad de 0.797; esto es, $P(X \leq 6.3) = 0.797$.

Mapeo de datos a una distribución normal estandarizada

Para mapear una precipitación, x , ocurrida en el mes m , registrada por una de las curvas de distribución Gamma, pertenecientes a la familia de funciones G y representada por la función $G()$, a un valor determinado por una función de distribución normal estandarizada, $N()$, con media 0 y desviación estándar 1, se compone la función $G()$, con la inversa de la función de distribución normal estandarizada, también conocida como la función cuantil de dicha distribución, $Q_N()$, de la siguiente manera:

$$N^{-1}(G(x,m)) = Q_N(G(x,m)) = Q_{N^o}(G(x,m)) = spi(x,m)$$

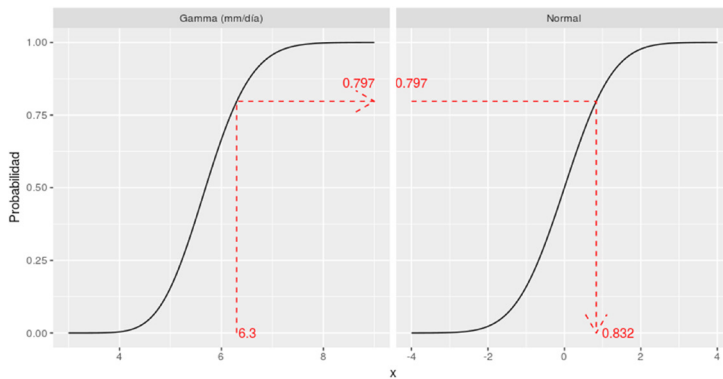
donde x es la precipitación, m es el mes en el que ocurrió dicha precipitación, y la composición de las funciones G seguida de Q_N aplicada a dicha precipitación y mes, es $spi(x,m)$, que es el índice de precipitación estandarizado correspondiente a la precipitación x ocurrida en el mes m .

La Fig. 5 ilustra la mecánica de la operación anterior para el caso de la cuenca analizada, de tal manera que si se entra con una precipitación de 6.3 mm/día, correspondiente al 60 mes, la

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

función Gamma arrojaría una probabilidad de 0.797, misma que se usa como entrada para la función cuantil o inversa de la función Normal, para entregar a la salida un valor del índice de precipitación estandarizado de 0.832.

Fig. 5. Mapeo entre dos distribuciones de probabilidad. La distribución Gamma es la ajustada para las precipitaciones ocurridas en el 60 mes de la serie de precipitaciones promediadas de la Fig. 2.



Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, aplicando la función $\text{spi}()$ a cada uno de los elementos de la serie de tiempo completa de promedios de precipitaciones de la cuenca del río Usumacinta, mostrada en la Fig. 2, se le puede transformar en una serie de tiempo de índices SPI, tal como la que se muestra en el gráfico superior de la Fig. 6.

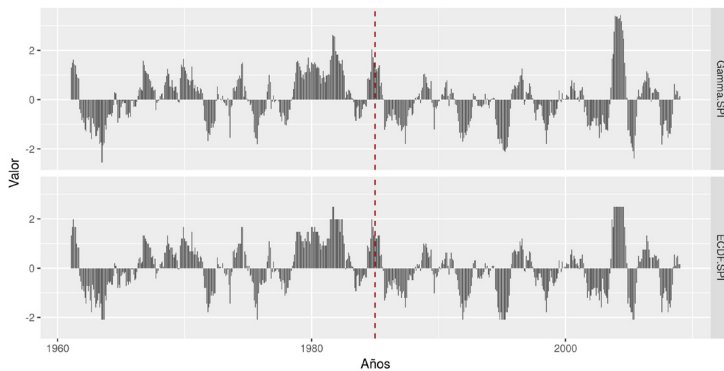
El uso de otras funciones de distribución

Aunque la descripción original del método para el cálculo de los índices SPI señala que el ajuste de los datos de precipitación promediada se hace a una función de distribución de probabilidades Gamma (McKee, Doesken y Kleist, 1993), desde sus primeras implementaciones (Edwards & McKee, 1997), se hizo uso alternativo de otras funciones de distribución, en particular

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

de las funciones no paramétricas conocidas como funciones acumulativas de distribución empíricas (ECDF, por sus siglas del inglés: *empirical cumulative distribution functions*). Si bien, para el efecto pudieran utilizarse cualesquiera de las funciones revisadas en otros trabajos (Hanson & Vogel, 2012, Guttman, 1999), las funciones ECDFs resultan particularmente interesantes para el presente trabajo.

Fig. 6. Serie de índices SPI-12 correspondiente a la serie de promedios de la cuenca del río Usumacinta, mostrada en la Fig. 2. En el gráfico superior, los índices se calcularon ajustando los datos a funciones de distribución Gamma; en el inferior, a funciones ECDF.



Fuente: Elaboración propia.

Una ECDF toma una serie de datos aleatorios, y le asigna a cada uno de ellos una probabilidad de $1/n$, donde n es el número de datos en la serie, ordena ascendentemente los datos y construye, a partir de ellos, una función tipo escalera en la que se cumple $F(x) = P(X \leq x)$, (Vaart, 1998 pp. 265-277; Gentle, 2009 pp. 59-65). Si en vez de ajustar los datos de precipitación de la cuenca del río Usumacinta, mostrados en la Fig. 2, a una función de distribución Gamma, se hubieran empleado funciones ECDF, siguiendo el procedimiento descrito previamente, el resultado hubiera sido la familia de funciones mostrada en la Fig. 7. En

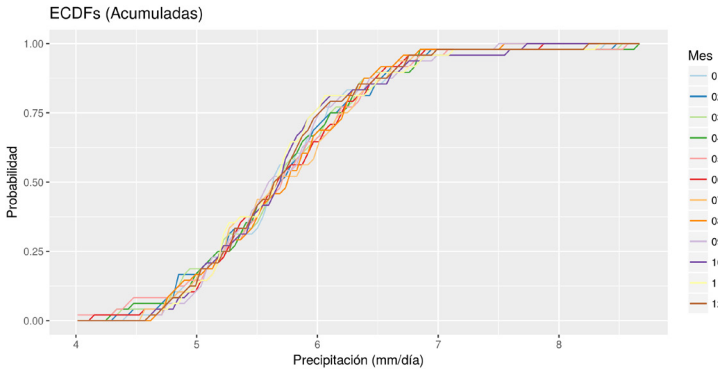
La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

esta figura, a diferencia del gráfico de la derecha de la Fig. 4, se muestran discontinuidades en cada punto donde se registra una precipitación diferente de los datos, lo que les da a las funciones una apariencia escalonada. El procedimiento, a partir de esta familia de funciones, para mapear las precipitaciones a una distribución normal estandarizada es semejante al descrito en la sección anterior. La serie de SPIs resultante de utilizar funciones ECDF en vez de funciones de distribución Gamma, se muestra en el gráfico inferior de la Fig. 6.

Es importante destacar que la implementación en el lenguaje R, desarrollada por Wheatley (2010), deriva de la implementación alternativa de Edwards y McKee (1977) que toma como base las funciones ECDF, y que la implementación desarrollada para el presente trabajo, a su vez, se fundamenta en esas dos. Lo anterior obedece a la ventaja que tienen estas funciones al trabajar directamente con los datos, en vez de hacerlo con una aproximación de ellos. Una desventaja del uso de las funciones ECDF es que, en ellas, todas las precipitaciones máximas arrojan una probabilidad de 1 y, por consiguiente, éstos valores al ser mapeados mediante la inversa de la función normal estandarizada a sus correspondientes valores de SPI, dan un valor infinito. Para lidiar con este problema, se recurre a un procedimiento de optimización que reajusta, para esos valores de precipitación, valores de SPI que mantienen la distribución normal estandarizada, esto es, con media 0 y desviación estándar 1 (Wheatley, 2010).

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

Fig. 7. Ajuste de los datos de precipitación promediada de la Fig. 2 a doce funciones de acumulativa distribución empíricas (ECDFs).



Fuente: Elaboración propia.

Interpretaciones del SPI

Dadas las características de la construcción del SPI, que lo hacen desembocar en una distribución normal estandarizada, típicamente sus valores variarán de manera aproximada entre -3 y 3, de tal manera que, para el período total considerado, un valor de cero para este índice estaría indicando una precipitación alrededor de la mediana, un valor negativo indicaría un déficit de precipitación y un valor positivo indicaría un superávit, con referencia a todo el período y a la región o punto geográfico considerados. La Organización Mundial de Meteorología (OMM) ha definido rangos de valores de los SPI para permitir la caracterización cualitativa de las precipitaciones (WMO, 2012). En el cuadro I, se muestran los rangos definidos por la OMM.

Partición de la serie de índices SPI

Si se utilizan los rangos definidos por la OMM, mostrados en el cuadro 1, para la construcción de un histograma de densidades

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

de probabilidad a partir de los índices SPI del gráfico inferior de la Fig. 6, se obtiene un gráfico semejante al mostrado en la Fig. 8. Debido a la forma de construir la serie de SPIs, el histograma resultante es simétrico y embona perfectamente con la curva descrita por la función normal estandarizada de densidad de probabilidades, que se muestra también superpuesta en la figura. Esto manifiesta que, lo que se ha hecho mediante la obtención de los índices SPI es clasificar los distintos promedios de precipitación ocurridos a lo largo de un período determinado, por encima o por debajo de uno de estos promedios que es la mediana de ellos. Esto, sin embargo, no tiene que ver con la distribución de los promedios a lo largo de la serie de tiempo. Por ejemplo, en el gráfico inferior de la Fig. 6, la línea punteada divide el período de la serie a la mitad, partiéndolo en dos a los que se llamará subperíodo antiguo (1961-1984) y subperíodo reciente (1985-2008), y se puede apreciar de manera sensible que, la mayoría de los valores negativos del SPI se encuentran en el subperíodo reciente, mientras que, por el contrario, la mayoría de los valores positivos se encuentran en el antiguo.

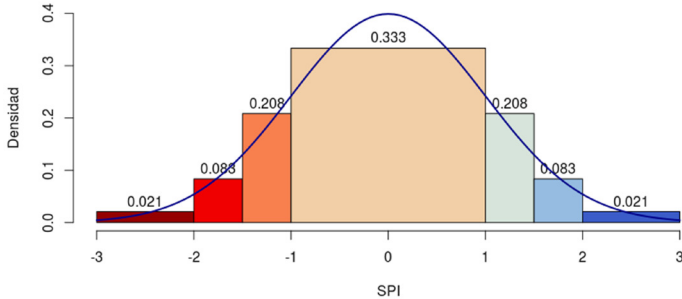
Cuadro I. Valores y probabilidades de ocurrencia de los índices normalizados de precipitación.

SPI	Categoría	Probabilidad
≥ 2.0	extremadamente húmedo (eh)	0.023
1.5 a 1.9	severamente húmedo (sh)	0.044
1.0 a 1.49	moderadamente húmedo (mh)	0.092
-0.99 a 0.99	aproximadamente normal (an)	0.682
-1.0 a -1.49	moderadamente seco (ms)	0.092
-1.5 a -1.9	severamente seco (ss)	0.044
≤ -2.0	extremadamente seco (es)	0.023

Fuente: Elaborado a partir de datos de la WMO (World Meteorological Organization).

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

Fig. 8. Histograma de densidad de probabilidades para la serie SPI mostrada en el gráfico inferior de la Fig. 6, con una curva de densidad normal estandarizada superpuesta.



Fuente: Elaboración propia.

De la observación anterior, surge la idea de construir dos histogramas: uno para cada subperíodo. Estos histogramas se muestran en la Fig. 9, a manera de espejo para hacer comparaciones entre ellos.

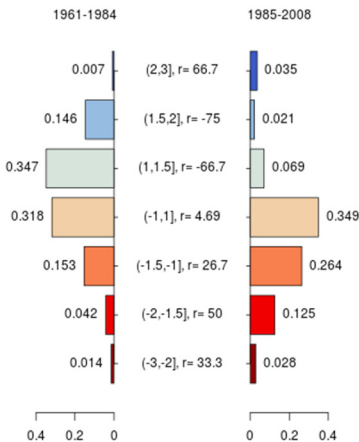


Fig. 9. Histogramas comparativos de los dos subperíodos: antiguo (1961-1984) y reciente (1985-2008). El ancho de las barras no se muestra gráficamente; en vez de ello se han indicado los intervalos y la densidad de probabilidades se muestra en la cabeza de cada barra. Se muestra el índice comparativo, r , para cada intervalo o barras apareadas.

Fuente: Elaboración propia.

Índice comparativo del SPI

Nótese que, en la Fig. 9, al promediar la altura, o densidad, de cada dos barras apareadas por el mismo intervalo, el resultado coincide con la densidad o altura, para ese intervalo en el histograma de todo el período, presentado en la Fig. 8. Por ejemplo, para el intervalo (1, 1.5], el promedio de 0.347 y 0.069 es: $(0.347+0.069)/2 = 0.208$, que es la altura de la barra correspondiente a ese intervalo en la Fig. 8. Esta propiedad, derivada de la forma de construir los histogramas, indica que para cada par de histogramas de subperíodos provenientes de un período total, independientemente de la distribución que se presente en el histograma particular, la suma de las alturas de las dos barras correspondientes a un intervalo, siempre será la misma. De aquí se puede definir un índice comparativo entre los dos subperíodos que forman el período, de la siguiente manera:

$$r = \frac{(h_1 - h_0)}{(h_1 + h_0)} \times 100$$

donde, r es el índice comparativo, en porcentaje, h_0 es la altura de la barra del subperíodo antiguo y h_1 es la altura de la barra del subperíodo reciente. Las etiquetas centrales de la Fig. 9 muestran, además del intervalo, los valores calculados para el índice r correspondiente al intervalo. Claramente, el índice r varía entre -100 y 100. Un valor negativo de r indica la preponderancia del subperíodo antiguo sobre el reciente, un valor positivo indica que el subperíodo reciente es preponderante sobre el antiguo y un valor cero, indica un equilibrio o igualdad en ambos subperíodos. Por ejemplo, para el intervalo (1, 1.5], $r = -66.5$, lo que indica que el cambio en los SPIs categorizados como moderadamente húmedos fue de un 66.5% hacia el primer subperíodo, y para el

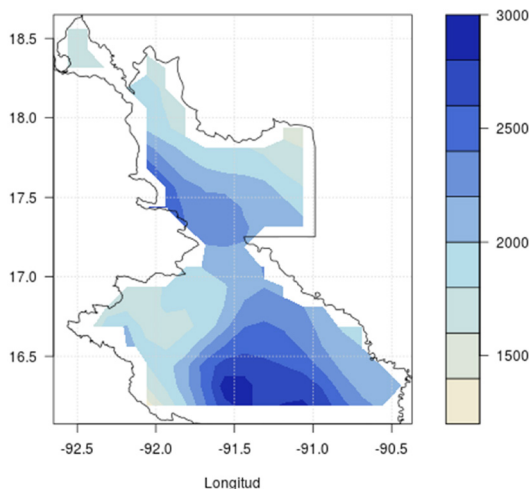
Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

intervalo $(-2, -1.5]$, $r = 50.0$, lo que indica que el cambio en los SPIs categorizados como severamente secos, fue de un 50% hacia el subperíodo reciente. Es decir, las sequías severas ocurrieron más en el subperíodo reciente.

Comparaciones geográficas de los índices SPI

Una de las ventajas del índice comparativo r propuesto, es que permite visualizar sobre la descripción geográfica de alguna región, el comportamiento de los índices SPI asociados a puntos definidos en ella. Para revisar este asunto, se presenta primeramente el patrón de precipitaciones promedio de la cuenca del río Usumacinta en la Fig. 10. Como se puede observar, los máximos de precipitación anuales se encuentran en la parte sur central y hacia el oeste centro. Los mínimos se hallan en el norte y en la región suroeste de la cuenca.

Fig. 10. Patrón anual de precipitación de la cuenca del Usumacinta (mm).



Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

La estrategia para la determinación de un índice comparativo visible geográficamente, parte del hecho de que se tiene un conjunto de puntos en malla en el interior de la cuenca, cada uno de los cuales tiene asociada una serie de tiempo de precipitaciones para el período considerado. Si bien, la series, tanto de precipitaciones como de promedios hacia atrás a 12 meses mostradas en la Fig. 2 corresponden a la totalidad de la cuenca, para cada uno de los puntos de malla de la cuenca se dispone y se pueden calcular series semejantes. A partir de la serie de promedios de precipitación se desarrolla todo el proceso descrito anteriormente, pero ahora para cada uno de los puntos de malla de la cuenca, hasta llegar a la obtención de los índices comparativos r , para cada uno de los intervalos de histograma asociados con las condiciones o categorías climáticas mostradas en el cuadro 1. Es decir, cada punto de malla contará con siete índices comparativos r ; uno para cada intervalo. A partir de esta información, se pueden construir siete mapas, uno para cada intervalo, en los que se muestren las variaciones del índice comparativo r , punto por punto.

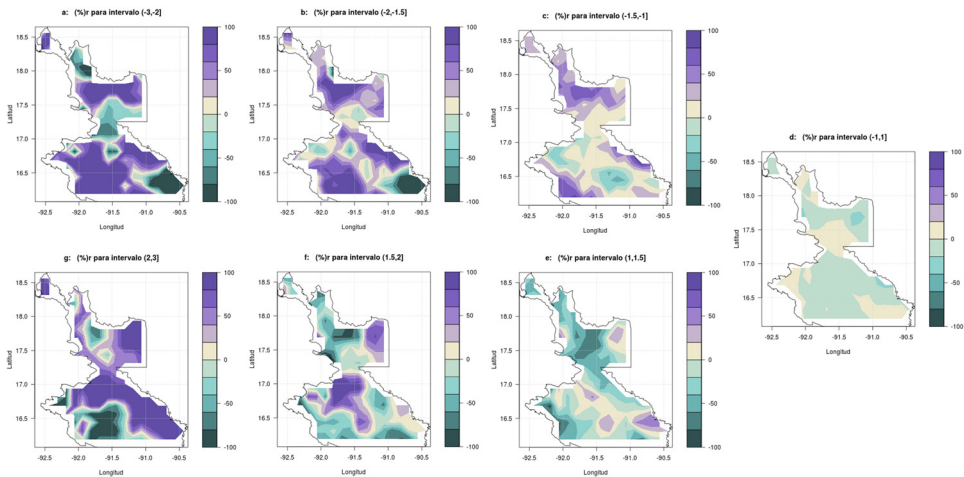
La Fig. 11 muestra los siete mapas del índice comparativo r de índices SPI, con una ventana de observación de 12 meses, para la cuenca del río Usumacinta, y para el período considerado que comprende los años de 1961 a 2008.

De acuerdo con la interpretación del índice comparativo r mencionado anteriormente, se puede ver que para los niveles más extremos (seco y húmedo) el subperíodo reciente es el que predomina mayormente en la cuenca (Figs. 11a y 11g respectivamente). Es interesante ver que hay zonas de mayor preponderancia del período reciente para ambos eventos extremos, tanto secos como húmedos. En cuanto a la sequía severa (Fig. 11b) domina el período reciente y en su contraparte, la humedad severa, domina el período antiguo (Fig. 11f). Siguiendo esa misma tendencia pero de forma más clara están los casos de sequía y humedad moderada (Figs. 11c y 11e respectivamente). Todos

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

estos resultados se corroboran claramente con los mostrados en la Fig. 9.

Figura 11: Índice comparativo r para las siete categorías de SPI enunciadas en el cuadro 1 para la cuenca del río Usumacinta. a) extremadamente seco, b) severamente seco, c) moderadamente seco, d) aproximadamente normal, e) moderadamente húmedo, f) severamente húmedo, g) extremadamente húmedo.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El escrito da una explicación detallada sobre el cálculo del SPI y se propone el porcentaje de cambio del SPI o índice comparativo, como una herramienta útil, para comparar dos subperíodos a lo largo del tiempo de un período determinado y para generar mapas espaciales, que permiten dilucidar la modificación espacial de la precipitación intra-cuenca en esos dos subperíodos.

En cuanto al análisis de SPI en la cuenca del río Usumacinta, se pudo observar cómo en general hay un dominio del período antiguo para las categorías húmedas y del período reciente en

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

las categorías secas (Figs 9 y 11), con excepción de las categorías extremas (seca y húmeda) en donde prevaleció el dominio del período reciente. Este tipo de metodología nos permite comparar el comportamiento espacio-temporal del SPI para una cuenca determinada.

Bibliografía

- Edwards, D. C. and McKee T. B.,(1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology report 97-2. Atmospheric science paper No. 634. Colorado State University, Department of Atmospheric Science. URI: <http://hdl.handle.net/10217/170176>. May, 1997. Implementation notes and code of this work can be found in URI: <http://ccc.atmos.colostate.edu/standardizedprecipitation.php>.
- García G .A. y E. F. Kauffer M. (2011). “Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general”, *Frontera Norte*, 23 (45): 131-162.
- Gentle, J.E., (2009). Computational Statistics. Statistics and Computing Series, Springer-Verlag, New York, April 2009. ISBN 978-0-387-98143-7, DOI 10.1007/978-0-387-98144-4.
- Guttman, N. B., (1999.) Accepting the *Standardized Precipitation Index*: a calculation algorithm. JAWRA Journal of The American Water Resources Association 35(2), 311-322. April, 1999.
- Hanson, L.S., Vogel, R. The Probability Distribution of Daily Rainfall in the United States. World Environmental and Water Resources Congress 2008. American Society of Civil Engineers. Published online: April 26, 2012. DOI: 10.1061/40976(316)585.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993), January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied

Metodología para la creación y análisis de índices comparativos del índice normalizado de precipitación: cuenca del río Usumacinta

- Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.
- Muñoz-Arriola, F., R. Avissar, C. Zhu, D. P. Lettenmaier, (2009). Sensitivity of the water resources of Rio Yaqui Basin, Mexico, to agriculture extensification under multiscale climate conditions. *Wat. Res. Res.* Vol. 45 (11), DOI: 10.1029/2007WR006783.
- Santana, J.S., Mateos-Farfán, E. El arte de programar en R: Un lenguaje para la estadística. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1a Edición digital, 2014. ISBN: 978-607-9368-15-9. Disponible en: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/el-arte-de-programar-en-r/.
- Shepard, D. S., (1984). Computer mapping: The SYMAP interpolation algorithm. *Spatial Statistics and Models*, G. L. Gaile and C. J. Willmott, Eds., D. Reidel, 133-145.
- Vaart A. W. van der, (1998). *Asymptotic statistics*. Cambridge University Press, ISBN 0-521-78450-6. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK, 1998.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. *Modern Applied Statistics with S*. Springer, New York, NY, 4th edition, 2002. URL <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4>. ISBN 0-387-95457-0.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.H., Ye, K. *Probability & Statistics of Engineers & Scientists*. Prentice Hall / Pearson Education, Inc., Boston, MA, 9th edition, (2012). ISBN 10: 0-321-62911-6.
- Wheatley J., (2010). *Standardized Precipitation Index Code*. Descripción y código disponible en URI: <https://joewheatley.net/2010/03/>.
- World Meteorological Organization. *Standardized Precipitation Index: User Guide*. (2012). WMO-No. 1090. World Meteorological Organization.
- Zhu, Chunmei, Dennis P. Lettenmaier, (2007): Long-Term Climate and Derived Surface Hydrology and Energy Flux Data for Mexico: 1925-2004. *J. Climate*, 20, 1936-1946.



**El cambio
climático
desde
la perspectiva
agrícola
y ambiental**





Río Usumacinta
en Emiliano Zapata,
Tabasco

Fotografía
Antonino García García

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

*Benigno Rivera Hernández,
Lorenzo A. Aceves Navarro,
José Francisco Juárez López,
Agrícola Arrieta Rivera,
Mirna Alexis Vázquez Alvaro
y Felipe García Jiménez*

Resumen

Los escenarios de cambio climático para la cuenca baja del Usumacinta reportan que las temperaturas promedio diarias se pueden elevar de entre 1.7 a 2.6 °C para finales de siglo. De ocurrir eso, se esperaría un incremento en las temperaturas máximas diarias. La ocurrencia de temperaturas máximas ($T_{\text{máx}}$) iguales o mayores a 35 °C en las etapas fenológicas reproductiva del cultivo de maíz, afectan negativamente sus rendimientos. Por ello, de incrementarse el número de días con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C, se esperaría una mayor disminución futura en los rendimientos del maíz. La fecha de siembra es muy importante, pues define cuándo ocurrirá la etapa reproductiva del maíz y eso determina cuantos días con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C pueden ocurrir. Esto, a su vez, permite estimar la reducción esperada en el rendimiento.

En los municipios de Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta se cultiva maíz en dos ciclos; primavera-verano y otoño-invierno. Las fechas de siembra recomendadas son del 15 de mayo al 30 junio y del 1º de noviembre al 31 de diciembre,

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

respectivamente. En consecuencia, la etapa reproductiva del maíz ocurre en los meses de junio a septiembre y de diciembre a abril. Así, el objetivo del presente trabajo fue determinar cuántos días, en los meses cuando ocurre la etapa sensible al estrés térmico del maíz, la $T_{\text{máx}}$ diaria fue ≥ 35 °C, para las fechas de siembra de los híbridos y variedades recomendadas para la cuenca baja del río Usumacinta.

Palabras clave: estrés térmico, maíz, modelos fenológicos, rendimientos.

Introducción

El cultivo de maíz es el más importante en superficie cultivada en el estado de Tabasco. Se cultiva de temporal normalmente en dos ciclos: primavera-verano (P-V) y otoño-invierno (O-I) (SIAP, 2017a). En 2015 se sembraron en Tabasco 69 761 ha de maíz con un rendimiento promedio de 1.75 t ha⁻¹. De esta superficie sembrada, 46 352 ha corresponden al ciclo primavera-verano y 23 409 al ciclo otoño-invierno (SIAP, 2017a). Alrededor de la mitad de la superficie sembrada con maíz correspondió al municipio de Emiliano Zapata, ubicado en la cuenca baja del río Usumacinta (SIAP, 2017b).

En los municipios del estado de Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta, las temperaturas superan los 29 °C en el transcurso del día la mayor parte del año (diez meses) (IMTA, 2009). Esas elevadas temperaturas tienen efectos que van en detrimento del crecimiento y desarrollo del cultivo del maíz (Barrón, 2008). La temperatura es uno de los factores más importantes que determina el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Si el cultivo se expone a temperaturas por encima de su

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

óptimo, se reducen los rendimientos y disminuye la calidad de los cereales (Maestri *et al.*, 2002).

El calentamiento global, a mediados y finales del presente siglo, traerá cambios a escala regional en los patrones de temperatura que tendrán consecuencias importantes en la producción de biomasa. Así, temperaturas más elevadas implican un acortamiento en el ciclo de vida y duración de las etapas fenológicas del maíz, con la consecuente perturbación en el proceso de acumulación de biomasa y reducción en los rendimientos (Jones y Thornton, 2003; Cairns *et al.*, 2012).

Se reporta que un incremento de tan sólo 2 °C implica una reducción en los rendimientos del maíz del 10 al 17% en países tropicales, como México (Lobell y Burke, 2010; Buttlar y Huybers, 2013). Otros autores reportan que la acumulación de temperaturas superiores a 29 °C está negativamente correlacionada con el rendimiento, al acelerar las etapas de desarrollo del grano y/o dañando el tejido y enzimas de la planta. Además, señalan que los rendimientos de maíz se reducen en 0.40 kg ha⁻¹ por cada grado centígrado por encima de 29 °C. De manera tal que, si en un día la temperatura sube a 35 °C, se tendrían 6 °C por encima de los 29 °C, lo cual equivale a una reducción de 2.4 kg ha⁻¹ para ese día. Por su parte, Cheikh y Jones (1994) reportan que para maíces de zonas templadas, cuando la temperatura es mayor a 25 °C, el rendimiento se reduce entre el 3 y 4% por cada grado centígrado superior a ese límite. Este límite es superior en maíces tropicales, más tolerantes al estrés térmico (Rattalino *et al.*, 2011).

En maíz, los rendimientos están fuertemente relacionados con el número de granos en la cosecha, y sus componentes dependen de las condiciones fisiológicas del cultivo alrededor de la etapa reproductiva. Si ocurre estrés térmico en esta etapa, sus efectos

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

son severos sobre la tasa de crecimiento de la planta y la mazorca (Wilhelm *et al.*, 1999), así como sobre la puesta y producción de grano (Rattalino-Edreira y Otegui, 2013), pues elevadas temperaturas afectan los procesos de polinización, fecundación y desarrollo del grano, y desecan el polen y/o los estigmas (Wilhelm *et al.*, 1999; Saini y Wesgate, 2000; Commuri y Jones, 2001; Monjardino *et al.*, 2005; Cicchino *et al.*, 2010).

El principal efecto que tienen las elevadas temperaturas durante la etapa sensible al estrés térmico (etapa reproductiva e inicios de la etapa de llenado de grano y madurez) sobre los rendimientos, se asocia con el acortamiento en el ciclo y fases de desarrollo que reducen el tiempo de intercepción de luz, disminuyen el número y el peso de los órganos reproductivos e incrementan la esterilidad mazorca (Stone, 2001; Carcova y Otegui, 2001; Maestri *et al.*, 2002).

A su vez, Neild (1980) y Neid *et al.*, (1988) reportan que en el caso del cultivo de maíz, la fase reproductiva y las etapas iniciales de la fase de llenado de grano son críticas para determinar el rendimiento en grano. Resultados de Rincón-Tuexi *et al.*, (2006) confirman que elevadas temperaturas en la fase reproductiva reduce significativamente la acumulación de biomasa, el rendimiento en grano, el número de granos por mazorca y el índice de cosecha, reportado previamente por Badu-Apraku *et al.*, (1983).

Cuando las temperaturas diarias son iguales o mayores a 35 °C ocurren todos los efectos ya señalados por el aborto de los granos, ocasionando la reducción de los rendimientos finales de hasta 38% (Crafts-Brandner y Law, 2000; Cheikh y Jones, 1994; Crafts-Brandner y Salvucci, 2002; Cicchino *et al.*, 2010; Rattalino *et al.*, 2011). Corroborando lo anterior, estudios en maíz en todo el mundo indican que existe una fuerte correlación negativa entre

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

los rendimientos y la acumulación de temperaturas mayores a 30°C (Lobell *et al.*, 2013).

Análisis estadísticos de más de 20 000 experimentos en África muestran que por cada grado por encima de 30 °C, el rendimiento de maíz se reduce en 1.7% en cultivo de temporal (Lobell *et al.*, 2011). Por su parte, Neild *et al.*, (1988) reportan que el rendimiento se reduce en 10.3 kg ha⁻¹ por cada día, cuando la temperatura máxima es igual o mayor a 35 °C durante el periodo de la fase reproductiva e inicios de la fase de llenado de grano y madurez (etapas de la tres a la ocho en la escala numérica de Hanway, 1971).

De lo anterior, se puede afirmar que la selección de la fecha de siembra para el cultivo de maíz es un factor determinante para los rendimientos finales. En las siembras de maíz durante los ciclos P-V y O-I en la cuenca baja del río Usumacinta, las deficiencias y/o excesos de humedad y las elevadas temperaturas son factores limitantes del rendimiento del cultivo (Barrón, 2008). De allí que la selección de la fecha más adecuada de siembra sea fundamental para reducir la probabilidad de disminuir los efectos negativos de ambos factores. Las fechas recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap) para las siembras de maíz en Tabasco en el ciclo P-V son del 15 de mayo al 30 de junio; mientras que para las siembras de O-I son del 15 de noviembre al 15 de enero. Excepto en la subregión de Los Ríos, que integra la cuenca baja del río Usumacinta, donde para evitar los efectos de falta de humedad en las etapas de floración y formación de grano debido a siembras tardías, el periodo de siembras recomendado es del 1° de noviembre al 31 de diciembre (Barrón, 2008).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Las variedades y/o híbridos recomendados tienen una duración a cosecha entre 140 a 150 días (Barrón, 2008). Dependiendo de la fecha de siembra, será la ocurrencia del periodo reproductivo, el cual se desplazará cada vez más a medida que se retrase la siembra. Así, la disminución en los rendimientos queda determinada por la época en que ocurre la etapa reproductiva, la que puede presentarse entre los meses de diciembre a abril, para siembras entre el 1º de noviembre y el 31 de diciembre (Barrón, 2008).

Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: a) determinar el número de días con temperaturas \geq a 35 °C para cada mes del año durante un periodo de treinta años, y b) determinar su distribución espacial en los meses del año cuando ocurre la etapa fenológica reproductiva del maíz para las fechas de siembra recomendadas.

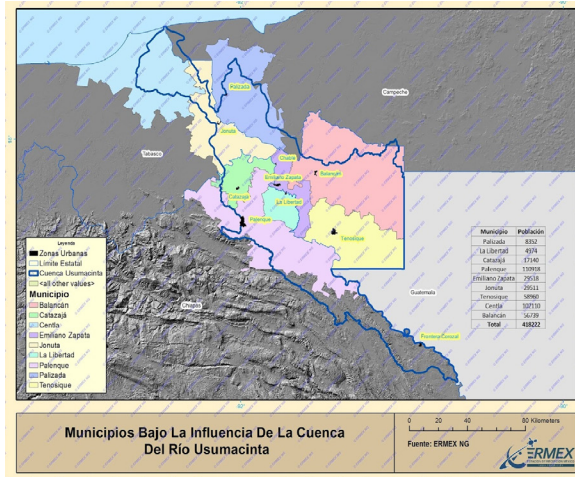
Materiales y métodos

Localización del área de estudio

Situado en el sureste de la república mexicana, el estado de Tabasco se halla entre los 17°15' y 18°39' de latitud norte, y los 91°00' y 94°17' de longitud oeste (Inegi, 2016). Tabasco se divide en dos grandes regiones: la región del Grijalva y la región del Usumacinta. Tabasco se integra por cinco subregiones: La Chontalpa, Centro, La Sierra, Pantanos y Los Ríos. La subregión de Los Ríos y parte de la subregión de los Pantanos, a su vez, son parte de la cuenca del río Usumacinta. La cuenca del río Usumacinta se integra por cinco subcuencas que parcialmente se localizan en México y en Guatemala. En México, la subcuenca Usumacinta se integra por nueve municipios de los estados de Chiapas, Tabasco y Campeche (figura 1).

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

Figura 1. Municipios de Chiapas, Tabasco y Campeche que integran la subcuenca Usumacinta, de la cuenca del río Usumacinta.



Fuente: ERMEX-SPOT, 2013.

Los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta son: Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta y Centla. Los municipios de Chiapas que integran esta subcuenca son: Palenque, Catazajá y La Libertad. El municipio de Campeche que integra esta subcuenca es Palizada (figura 1).

Estaciones meteorológicas seleccionadas

En el cuadro 1 se muestra la clave, nombre de la estación y del municipio, así como las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas de Tabasco seleccionadas para el presente estudio, en el que se denominará "cuenca baja del río Usumacinta" a los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas selectas de la cuenca baja del río Usumacinta.

Clave	Nombre de la estación y Municipio	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)
27056	Balancán de Domínguez, Balancán	17.817	-91.550	18
27050	Tres Brazos, Centla	18.403	-92.635	8
27047	Tenosique, Tenosique	17.483	-91.433	32
27012	Emiliano Zapata,	17.742	-91.781	60
27028	Jonuta, Jonuta	18.092	-92.139	18

Fuente: IMTA, 2009.

Los datos de temperatura máxima diaria por un periodo de treinta años (1950-1980) para las cinco estaciones meteorológicas seleccionadas, se obtuvieron de la base de datos *ERIC III*, v. 2 (IMTA, 2009), la cual facilita la extracción de la información del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (Conagua).

Determinación del modelo fenológico de los maíces recomendados

Con los datos de la duración en días para la floración y cosecha reportados para las variedades e híbridos de maíz recomendados para Tabasco (Barrón, 2008), con los requerimientos térmicos para cada etapa fenológica de los diferentes tipos de maíz reportados por Neild y Seeley (1977), y el uso del programa *Agroclim*, v 1 (Aceves *et al.*, 2008), se procedió a determinar el modelo fenológico

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

de dichos maíces. Este modelo estima los requerimientos térmicos para cada etapa fenológica del cultivo (grados-día de desarrollo), desde la fecha de siembra a la madurez.

Determinación del inicio, duración y final de la etapa reproductiva del maíz para diferentes fechas de siembra

Con el modelo fenológico obtenido de los maíces recomendados para Tabasco y con el programa *Agroclim*, v 1 se simularon diferentes fechas de siembra y se determinó el inicio, final y duración de la etapa reproductiva sensible al estrés térmico (etapas de la tres a la ocho, según Neild *et al.*, 1988) del cultivo de maíz, para cada fecha de siembra. Así, se determinó el periodo en días durante el cual ocurre la etapa reproductiva en la cuenca baja del río Usumacinta para los periodos de siembra de los ciclos P-V y O-I recomendados para Tabasco (Barrón, 2008).

Procedimiento para el análisis de datos y elaboración de mapas

De los registros extraídos de temperatura máxima diaria se contabilizó, para cada mes del año y para cada uno de los treinta años de registro, el número de días con temperaturas \geq a 35 °C durante todo ese periodo. Con el resultado de esta contabilidad se elaboraron los cuadros y mapas mensuales correspondientes que se reportan en este trabajo. La herramienta utilizada para la elaboración de cartografía fue el programa *ArcMap* GIS (ESRI, 2004), y se construyeron mapas a escala 1:140 000 de cada uno de los meses donde ocurre la etapa reproductiva del maíz, de acuerdo con las fechas de siembra recomendadas para Tabasco por Barrón (2008). La interpolación para el cálculo de isolíneas se realizó con el método Kriging, incluido dentro del programa *ArcMap* GIS.

Resultados y discusión

Determinación del modelo fenológico de los maíces recomendados

Barrón (2008) reporta que los maíces recomendados para Tabasco tienen una duración a floración de 49 a 54 días para siembras entre el 15 de mayo y el 30 de junio (ciclo P-V), y de 62 a 69 días para siembras entre el 1º de noviembre y el 31 de diciembre (ciclo O-I). Cuando esas fechas y duraciones se reprodujeron para las temperaturas de la estación meteorológica de Huimanguillo, Tabasco, con el programa *Agroclim*, v 1, dio como resultado que esos maíces acumulaban, en promedio, 955° por encima de una temperatura base de 10 grados centígrados.

Neild y Seeley (1977) reportan que para maíces muy tardíos, como estos, la etapa reproductiva ocupa el 52% del ciclo de vida y reportan, además, el correspondiente porcentaje para cada etapa fenológica de este tipo representativo de maíces. El resultado de los requerimientos térmicos acumulados (*GDD*) para cada fase y etapa de desarrollo de los maíces recomendados para el estado de Tabasco, se muestran en el cuadro 2. Asimismo, muestra que el periodo sensible al estrés térmico (etapa tres a ocho) va desde los 580° *GDD*₋₁₀ hasta 1 450° *GDD*₋₁₀. Con los requerimientos térmicos por cada etapa de desarrollo y el número de la etapa, reportados en el cuadro 2, se obtuvo el siguiente modelo fenológico para los maíces recomendados para el estado de Tabasco:

$$Y = 0.0055 * X; \quad R^2 = 0.9958 \quad (1)$$

Donde: *Y* es el número de la etapa de desarrollo del maíz (escala de Hanway, 1971), *X* es grados-día de desarrollo (*GDD*) acumulados a partir de la fecha de siembra (base 10 °C). Los *GDD* se determinaron utilizando la siguiente ecuación:

$$GDD = Tm - Tb \quad (2)$$

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

Donde: *GDD* es grados-día de desarrollo ($^{\circ}\text{C d}^{-1}$), *T_m* es la temperatura promedio diaria ($^{\circ}\text{C}$) y *T_b* es la temperatura base (que para el maíz es de 10 $^{\circ}\text{C}$).

Cuadro 2. Fases fenológicas, etapas de desarrollo, número de etapa y requerimientos térmicos acumulados (*GDD*) de las variedades e híbridos de maíz recomendados para el estado de Tabasco, México.

FASE	ETAPA DE DESARROLLO	NÚMERO DE ETAPA*	<i>GDD</i> **
GS1 Vegetativa	Siembra	0.0	0
	2 hojas totalmente emergidas	0.5	115
	4 hojas totalmente emergidas	1.0	240
	6 hojas totalmente emergidas (punto de crecimiento por encima del suelo)	1.5	270
	8 hojas totalmente emergidas (panícula inicia su desarrollo)	2.0	415
	10 hojas totalmente emergidas	2.5	500
	12 hojas totalmente emergidas (inicia formación de la mazorca)	3.0	580
GS2 Reproductiva	14 hojas totalmente emergidas (estigmas desarrollándose en la mazorca)	3.5	670
	16 hojas totalmente emergidas (emerge punta de la panoja)	4.0	810
	Antesis (emergen los estigmas)	5.0	935
	Mazorca con grano ampollado	6.0	1 100
	Mazorca con grano suave	7.0	1 280
	Mazorca iniciando el dentado	8.0	1 450
GS3 Madurez	Mazorca totalmente dentada	9.0	1 620
	Madurez fisiológica (capa negra visible)	10.0	1 780

(*) Escala numérica propuesta por Hanway (1971). (**) Grados-día de desarrollo base, 10 $^{\circ}\text{C}$.

Fuente: Neild R.E., Wilhite, D.A., & Hubbard K.G., 1988.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

En la ecuación (1), los *GDD* se empiezan a contabilizar y acumular a partir de la fecha de siembra, de manera tal que a determinado valor acumulado de *GDD* le corresponde un número de la etapa de desarrollo del maíz.

Determinación del inicio, duración y final de la etapa reproductiva del maíz para diferentes fechas de siembra

Agroclim, v 1, es un programa mediante el cual se calculan datos climáticos diarios a partir de valores promedio mensuales, que son más aplicables a los cultivos que los promedios mensuales. Además, genera estimaciones diarias de la duración del día, temperatura, precipitación acumulada (PPT) y evapotranspiración potencial acumulada (ETP) a partir de registros mensuales. También, deriva valores diarios acumulados de Grados-Día de Desarrollo (*GDD*) y genera las fechas esperadas para las diferentes etapas de desarrollo (fenológicas), para diferentes fechas de siembra y las normales climatológicas asociadas. Los resultados del programa *Agroclim*, v 1, muestran que para siembras de maíz en el ciclo P-V (15 de mayo al 30 de junio), la etapa sensible al estrés térmico (etapas tres a la ocho) ocurre del 14 de junio al 17 de septiembre; mientras que en siembras en el ciclo O-I (1° de noviembre al 31 de diciembre) la etapa sensible al estrés ocurre del 10 de diciembre al 5 de abril. Muestran, además, que la duración del periodo sensible fue de 46 a 47 días para siembras de primavera-verano y de 52 a 64 días para siembras de otoño-invierno.

Análisis de datos

El resultado del número total de días con temperatura máxima \geq a 35 °C en cada mes del año y para los treinta años utilizados, se presentan en el cuadro 3, donde se muestra que el número total

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

de días con temperaturas ≥ 35 °C para ese periodo de treinta años fluctúa entre 1 199 días, para Tenosique, y 2 190 días para Balancán; es decir, casi 1 000 días más.

Cuadro 3. Número total de días con temperaturas ≥ 35 °C en cada mes, en cinco estaciones meteorológicas de la cuenca baja del río Usumacinta, Tabasco (periodo 1950-1980).

Mes	Emiliano Zapata	Tenosique	Jonuta	Balancán de Domínguez	Tres Brazos
Enero	0	0	0	0	0
Febrero	11	4	17	15	14
Marzo	129	146	182	194	114
Abril	273	357	370	436	316
Mayo	322	425	468	508	417
Junio	229	188	302	361	246
Julio	159	23	171	250	113
Agosto	123	26	167	227	143
Septiembre	111	18	81	136	80
Octubre	30	10	33	58	26
Noviembre	3	2	1	5	3
Diciembre	5	0	0	0	2
TOTAL	1 395	1 199	1 792	2 190	1 474

Fuente: Elaboración propia.

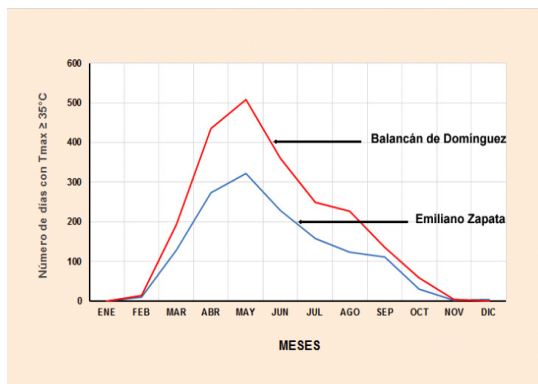
En el cuadro 3 se observa que durante los meses de marzo a septiembre ocurre el mayor número de días con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C, en todas las estaciones estudiadas. Asimismo, se observa que en el mes de enero no hubo ningún día con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C, y que los meses de noviembre a febrero ocurre el mínimo de días en el año con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C. En todas las estaciones, el mes con el mayor número de días con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C fue mayo y, a partir de este mes, el número de días va disminuyendo hasta llegar a cero en enero. De esta manera, se esperaría un mayor estrés térmico en el

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

ciclo P-V que en siembras del ciclo O-I, ya que las temperaturas máximas iguales o superiores a 35 °C están fuera del rango de temperatura óptima para la mayoría de los cultivos que reporta la Food and Agriculture Organization of the United Nations en su portal de Internet *Ecocrop* (FAO, 1994).

El comportamiento temporal del número de días con $T_{\text{máx}} \geq 35$ °C es muy similar en todas las estaciones seleccionadas. De manera ilustrativa, en la figura 2 se muestra esta distribución temporal para las estaciones de Emiliano Zapata y Balancán de Domínguez. En esta figura se observa que el comportamiento temporal es muy similar entre ambas estaciones, sólo que Balancán de Domínguez muestra valores mayores que Emiliano Zapata. De la misma manera, se aprecia que el periodo de abril a junio es cuando ocurre el mayor número de días con temperatura máxima ≥ 35 °C; mientras que en los meses de noviembre a febrero ocurren los valores mínimos. En el cuadro 4 se muestra el número promedio de días al mes con temperatura máxima ≥ 35 °C. En ese cuadro se puede apreciar que en los meses de noviembre a febrero prácticamente no ocurren temperaturas ≥ 35 grados centígrados.

Figura 2. Número total de días con temperatura máxima ≥ 35 °C en las estaciones meteorológicas de Emiliano Zapata y Balancán de Domínguez (periodo 1950-1980).



Fuente: Elaboración propia.

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

Cuadro 4. Número promedio de días al mes con temperaturas \geq a 35 °C para las cinco estaciones selectas de la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco, México.

Mes	Emiliano Zapata	Tenosique	Jonuta	Balancán de Domínguez	Tres Brazos
Enero	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	1	1	0
Marzo	4	5	6	6	4
Abril	9	12	12	15	11
Mayo	11	14	16	17	14
Junio	8	6	10	12	8
Julio	5	1	6	8	4
Agosto	4	1	6	8	5
Septiembre	4	1	3	5	3
Octubre	1	0	1	2	1
Noviembre	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0
TOTAL	47	40	60	73	49

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 4 se observa que el número promedio de días con $T_{\text{máx}} \geq$ de 35 °C es cero para los meses de noviembre a enero. Se observa también que los meses de abril a junio ocurre el mayor número de días con $T_{\text{máx}} \geq$ de 35 grados centígrados.

Evaluación de los periodos de siembra

A fin de evaluar los periodos de siembra se utilizó el programa *Agroclim*, v 1 (Aceves *et al.*, 2008) que reporta, para diferentes fechas de siembra, el inicio y final de la etapa sensible a elevadas temperaturas (etapa tres a la ocho). A continuación se muestran en el cuadro 5 los resultados obtenidos en la estación meteorológica de Emiliano Zapata, como representativa de la zona maicera de la cuenca baja del río Usumacinta.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Cuando el maíz se siembra en el ciclo P-V tiene un ciclo de vida que varía entre 94 y 98 días, desde la siembra hasta la etapa de madurez fisiológica. En cambio, cuando se siembra en el ciclo O-I su ciclo de vida se alarga, con una duración de entre 124 y 113 días. Esto se explica porque las temperaturas durante el ciclo de vida del cultivo en siembras de P-V ocurren en la época más caliente del año, mientras que el ciclo de vida en siembras O-I ocurre en el periodo más fresco del año, tal y como se puede apreciar en el patrón estacional de la temperatura promedio de la estación de Emiliano Zapata, municipio de Tabasco con más superficie de maíz cultivada (SIAP, 2017b).

Cuadro 5. Fechas de siembra, duración del ciclo de vida, fecha de inicio y final del periodo sensible al estrés térmico del cultivo de maíz en Emiliano Zapata, Tabasco, México.

FECHA DE SIEMBRA	DURACIÓN DEL CICLO DE VIDA (días)	PERIODO ENTRE ETAPA TRES Y OCHO	
		INICIO	FINAL
15-may	94	14-jun	30-jul
30-may	95	30-jun	15-ago
15-jun	97	16-jul	1-sep
30-jun	98	1-ago	17-sep
1-nov	124	10-dic	12-feb
15-nov	123	26-dic	26-feb
30-nov	121	12-ene	12-mar
15-dic	117	27-ene	24-mar
31-dic	113	12-feb	5-abr

Fuente: Elaboración propia.

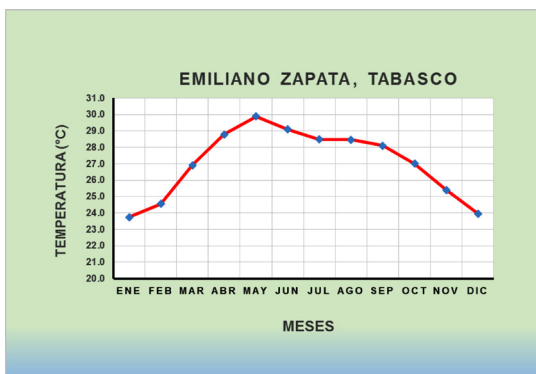
En el cuadro 5 se puede apreciar que siembras tempranas en el ciclo P-V presentan ciclos de vida más cortos, situación contraria a las siembras en O-I, donde las siembras tempranas presentan

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

los ciclos más largos. Esto se explica por el patrón de temperatura mostrado en la figura 3.

A temperaturas más elevadas, el ciclo de vida y duración de las etapas fenológicas se acortan, y la producción de biomasa y los rendimientos se reducen, tal y como lo reportan Midmore *et al.*, (1984); Reynolds *et al.*, (2000); Stone (2001); Carcova y Otegui (2001); Maestri *et al.*, (2002); Rincón-Tuexi *et al.*, (2006), y Barrón (2008). También, en este cuadro se puede observar que para siembras tempranas en el ciclo P-V (15 de mayo al 15 de junio), la etapa reproductiva ocurre en los meses de junio a agosto. En cambio, para siembras tardías (15 al 30 de junio), el periodo sensible ocurre en los meses de julio a septiembre. Asimismo, se muestra que para siembras tempranas en el ciclo de O-I (1° al 15 de noviembre), la etapa reproductiva ocurre en los meses de diciembre a febrero. En cambio, para siembras tardías (30 de noviembre al 31 de diciembre) ocurre en los meses de enero a principios de abril.

Figura 3. Patrón estacional de la temperatura promedio mensual en Emiliano Zapata, Tabasco, México.



Fuente: IMTA, 2009.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Dado que para la siembra más tardía (31 de diciembre) en el ciclo O-I, la etapa sensible al estrés térmico ocurre entre el 12 de febrero y el 5 de abril, y que los meses de enero y febrero es mínimo o casi nulo el efecto de estrés térmico, se puede afirmar que para siembras en el ciclo O-I, el efecto de elevadas temperaturas sobre los rendimientos del maíz son nulas. Mientras que, de acuerdo con los resultados que se muestran en los cuadros 3 y 4 y en las figuras de la 4 a la 7, se esperaría que las elevadas temperaturas tuvieran un mayor efecto sobre los rendimientos del maíz cuando la etapa reproductiva ocurra entre los meses junio a agosto, en siembras del ciclo P-V. Esto parece confirmar los resultados obtenidos por Barrón (2008), quien reporta que el rendimiento en el ciclo P-V es 4% menor que el de O-I, quizá debido al mayor estrés térmico presente en las siembras del ciclo P-V, casi ausente en el ciclo otoño-invierno.

Mapas resultantes

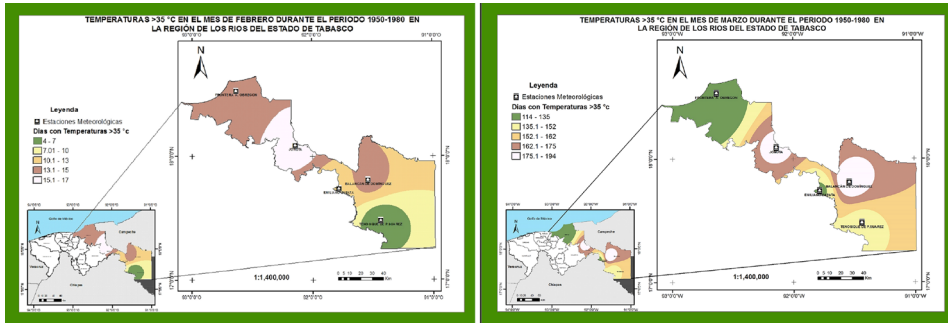
Dado que el periodo sensible al estrés térmico ocurre en los meses de junio a septiembre para siembras de P-V, y de diciembre a abril para siembras de O-I, y como en los meses de noviembre a enero no ocurren temperaturas \geq a 35 °C, los mapas elaborados fueron para los meses de febrero a abril y junio a septiembre. Estos mapas muestran la distribución espacial del número total de días con temperaturas \geq a 35 °C durante el periodo estudiado de treinta años y se presentan en las figuras 4, 5, 6 y 7.

Se puede observar en la figura 4 que en el mes de febrero, el número total de días con temperaturas \geq a 35 °C varía entre 4 y 17 días, siendo la zona de Jonuta, Centla y sur de Balancán donde ocurren los mayores valores, mientras que en Tenosique ocurren los menores valores. Ya para marzo, el número total de días fluctúa entre 114 y 194 días, donde en el área de Centla y parte de Emiliano Zapata ocurren los menores valores, entre 114

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

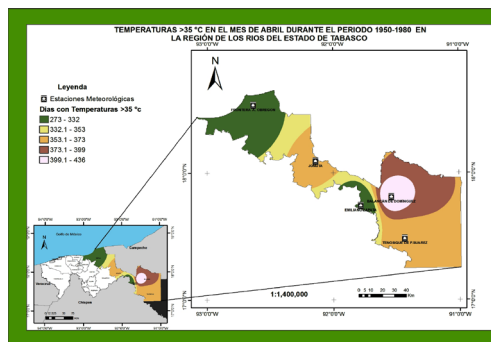
y 152 días; mientras que en Jonuta y Balancán ocurren los valores más altos, entre 175 y 194 días.

Figura 4. Mapas de los meses de febrero y marzo con el número en días con temperaturas máximas \geq a 35 °C, durante el periodo 1950-1980, en los municipios de Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Mapa del mes de abril con el número de días con temperaturas máximas \geq a 35 °C durante el periodo 1950-1980, en los municipios de Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta.



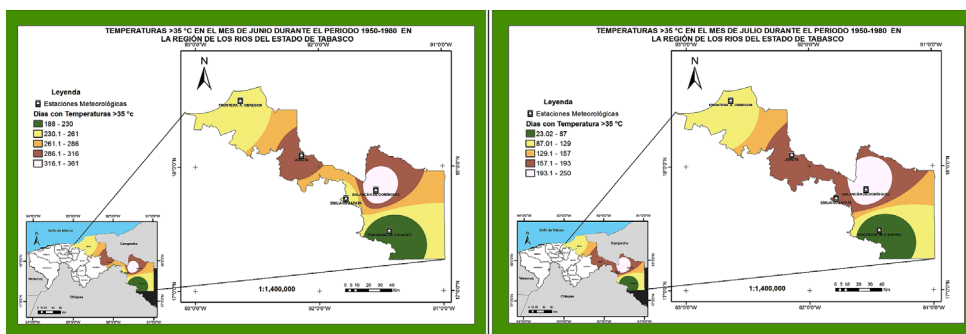
Fuente: Elaboración propia.

En el mapa de la figura 5 se muestra que para el mes de abril el número total de días con temperatura \geq a 35 °C fluctuó entre

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

273 y 436 días. Se observa también que en el área de Centla y Emiliano Zapata ocurre el menor número de días (273 a 332), mientras que en Balancán ocurren los valores máximos, entre 399 y 436 días. En los mapas de la figura 6 se puede apreciar que el número total de días disminuyó, entre 188 y 361 días para junio y de 23 a 250 para julio. Asimismo, en Balancán se observa que en esos dos meses ocurre el mayor número de días con temperaturas \geq a 35°C , con valores de 316 a 361 días para junio y de 193 a 250 para julio. Mientras que en la zona de Tenosique se observa el menor número de días, que va disminuyendo de 230 a 23 días entre los meses de junio a julio. En la figura 7 se muestra que en Balancán siguen ocurriendo los mayores valores en el número de días con temperaturas \geq a 35°C , mientras que en Tenosique ocurre el menor número de días.

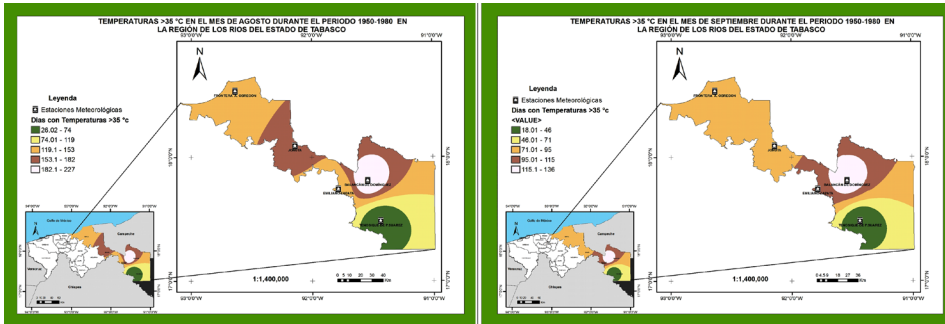
Figura 6. Mapas de los meses junio y julio con el número en días con temperaturas \geq a 35°C durante el periodo 1950-1980, en los municipios de Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

Figura 7. Mapas de los meses de agosto y septiembre con el número en días con temperaturas \geq a 35 °C durante el periodo 1950-1980, en los municipios de Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se concluye que para las siembras de maíz en el ciclo O-I, el efecto de estrés térmico durante la etapa reproductiva es nulo. No así en el ciclo P-V, donde ocurre el mayor número de días con temperaturas \geq a 35 °C. Asimismo, se concluye que en la cuenca baja del río Usumacinta el principal factor que limita los rendimientos de maíz en el ciclo P-V es la reducción del ciclo de vida del cultivo, por las elevadas temperaturas; ciclo 20% menor que en siembras del ciclo O-I. A escala de la cuenca baja del río Usumacinta, la zona de Balancán es donde el estrés térmico durante la etapa reproductiva del maíz es el más elevado y frecuente, siendo en la zona de Tenosique donde el maíz se vería menos afectado por el estrés térmico, con la consecuente reducción en los rendimientos.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Bibliografía

- Aceves-Navarro, L. A., Arrieta-Rivera, A. & Barbosa-Olán, J. L. (2008). *Manual de Agroclim, 1.0*, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas, Tabasco, 28 pp.
- Badu-Apraku, B., Hunter, R. B., & Tollenaar, M. (1983). "Effect of temperature during grain filling in whole plant and grain yield in maize (*Z. mays L.*)", *Can. J. Sci.*, 63: 357-363.
- Barrón, F. S. (2008). *Manual para la producción de maíz en Tabasco*. Folleto para Productores Núm. 13. Sagarpa-Inifap, Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Huimanguillo, Huimanguillo, Tabasco, 26 pp.
- Buttler, E. E., & Uybers, P. (2013). "Adaptation of US maize to temperature variations", *Nature Climate Change*, 3(1): 68-72.
- Cairns, J. E., Sander, P. H., Zaidi, N., Verhulst, G., Mahuku, R., Baba, S.K., Nair, B., Das, B., Govaerts, M.T., Vinayan, Z., Rashid, J. J., Noor, P., Devi, F., San Vicente, F., & Prasanna, B. M. (2012). "Maize production in a changing climate: impacts, adaptations, and mitigation strategies, *Advances in Agronomy*, 114(1): 1-58.
- Cárcova, J., & Otegui, M. E. (2001). "Ear temperature and pollination timing effects on maize kernel set", *Crop Science*, 41: 1809-1815.
- Cheikh, N., & Jones, R. J. (1994). "Disruption of maize kernel growth and development by heat stress. (Role of cytokine/abscisic acid balance)", *Plant Physiol.*, 106: 45-51.
- Cicchino, M., J. I. Rattalino-Edreira, & Otegui, M. E. (2010). "Heat stress during late vegetative growth of maize: effects on phenology and assessment of optimum temperature", *Crop Sci.*, 50: 1438-1448.
- Commuri, P. D., & Jones, R. J. (2001). "High temperatures during endosperm cell division in maize. A genotypic comparison under in vitro and field conditions", *Crop Sci.*, 41: 1122-1130.

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

- Crafts-Brandner, S. J., & Law, R. D. (2000). "Effect of heat stress on the inhibition and the recovery of the ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activation state", *Planta Physiol.*, 212: 67-74.
- Crafts-Brandner, S. J., & Salvucci, M. E. (2002). "Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress", *Plant Physiol.*, 129: 1773-1780.
- ESRI (Environmental System Research Institute) (2004). ArcGIS 9.3. *Getting started with ArcGIS*, Sistema de información, USA.
- Ermex-Spot (Estación de Recepción México) (2013). Texto completo de acceso libre, URL: www.ermexnuevageneracion.blogspot.mx/2013/09/cuenca-del-rio-usumacinta.html. Última consulta: 12 de febrero, 2017.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1994). *ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Versión 1.0, AGLS, Rome. Texto completo de acceso libre, URL: www.ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropFindForm. Última consulta: 18 de febrero, 2017.
- Hanway, J. J. (1971). "How a corn plant develops". Iowa State University, *Techol. Spec. Rep.* No. 98.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) (2009). *ERIC III: Extractor rápido de información climatológica*, v.2, CD, 28 pp.
- Inegi (Instituto Nacional de Geografía y Estadística) (2016). *Mapas*. Texto completo de acceso libre, URL: www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/?ag=27 Última consulta: 9 de diciembre, 2016.
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2003). "The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055", *Global Environmental Change*, 13(1): 51-59.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Lobell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M.J., & Schlenker, W. (2013). "The critical role of extreme heat for maize production in the United States", *Nature Climate Change*, 3(5): 497-501.
- Lobell, D. B., Bänziger, M., Magorokosho, C., & Vivek, B. (2011). "Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials", *Nature Clim. Change*, 1: 42-45.
- Lobell, D. B., & Burke, M. B. (2010). "On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change", *Agric. Forest Meteorol.*, 150: 1443-1452.
- Maestri, E., Klueva, N., Perrotta, C., Gulli, M., Nguyen, T., & Marmioli, N. (2002). "Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals", *Journal of Plant Molecular Biology*, 48: 667-682.
- Midmore, D. J., Cartwright, P. M., & Fischer, R. A. (1984). "Wheat in tropical environments. II. Growth and grain yield", *Field Crops Res.*, (8): 207-227.
- Monjardino, P., Smith, A. G., & Jones, R. J. (2005). "Heat stress effects on protein accumulation of maize endosperm", *Crop Sci.*, 45: 1203-1210.
- Neild, R. E., Wilhite, D. A., & Hubbard, K. G. (1988). *Cropstatus - A computer program to assess the effects of seasonal weather changes on Nebraska's agriculture*, Univ. of Nebraska, Drought Mitigation Center Faculty Publications, Paper 61, 351-366. Texto completo de acceso libre, URL: <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/61>. Última consulta: 20 de abril, 2017.
- Neild, R. E. (1980). G80-526. *The effect of weather on corn: pre-season precipitation and yield of unirrigated corn*. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension, Paper 712. Texto completo de acceso libre, URL: www.digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1709&context=extensionhist. Última consulta el 20 de diciembre de 2016.

Ocurrencia diaria de temperaturas mayores e iguales a 35 °C en los municipios de Tabasco, que integran la cuenca baja del río Usumacinta

- Neild, R. E., & Seeley, M. W. (1977). *Growing degree days predictions for corn and sorghum development and some applications to crop production in Nebraska*, UN-L Res. Bull. 280, 12 pp. Texto completo de acceso libre, URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/3891/2730b0ce9a1226ff3c21f348c8262ef3adaa.pdf>. Última consulta el 20 de abril de 2017.
- Rattalino-Edreira, J. J., Budakli-Carpici, E., Sammarro, D., & Ortega, M. E. (2011). "Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids", *Field Crops Res.*, 123: 62-73.
- Rattalino-Edreira, J. J., & Otegui M. E. (2013). "Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: A novel approach for assessing sources of kernel loss in field conditions", *Field Crops Res.*, 142: 58-67.
- Reynolds, M. P., Delgado, M. I. B., Gutiérrez-Rodríguez, M., & Larqué-Saavedra, A. (2000). "Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I: genetic diversity for photosynthesis and its relation to productivity", *Field Crop Res.*, (66): 37-50.
- Rincón-Tuexi, J. A., Castro-Nava, S., López-Santillán, J. A., Huerta, A. J., Trejo-López, C., & Briones-Encinia, F. (2006). "Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical", *Rev. Int. Bot. Exp.*, 75: 31-40.
- Saini, H. S., & Westgate, M. E. (2000). "Reproductive development in grain crops during drought". In: *Advances in agronomy*, D. L. Spartes (ed.), vol. 68, pp.59-96, Academic Press, San Diego, CA, USA.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2017a). *Avances de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado*. Texto completo de acceso libre, URL: www.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do Última consulta: 19 de abril, 2017.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2017b). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Texto completo de acceso libre, URL: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp Última consulta: 20 de abril, 2017.
- Stone, P. (2001). "The effects of heat stress on cereal yield and quality". In: *Crop responses and adaptations to temperature stress*, A. S. Basra (ed.) pp. 243-291, Food Products Press, Binghamton, NY, USA.
- Wilhelm, E. P., Mullen, R. E., Keeling, P. L., & Singletary, G. W. (1999). "Heat stress during grain filling in maize: effects on kernel growth and metabolism", *Crop science*, 39(6):1733-1741.





Río Usumacinta en
Frontera Echeverría,
Chiapas, 2016, mostrando
un caudal demasiado bajo

Fotografía
Antonino García García

Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México

*Rebeca González Villela
y Martín José Montero Martínez*

Resumen

La disponibilidad de agua se determinó mediante el análisis de la cantidad y frecuencia de la precipitación, asociada con la cantidad, frecuencia y magnitud de los regímenes de flujo (caudal ecológico), utilizando la base de datos climatológicos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) y el Sistema de Cartografía de Síntomas (*Symap*, por sus siglas en inglés); los caudales, con información hidrométrica y el programa *IHA V7*. Se estudió el aumento de la precipitación mensual en la estación lluviosa y su disminución en la estación seca en el periodo posterior al impacto; así como el aumento significativo del número de días con precipitación nula, el aumento en el número de días al año con mayor amplitud en la precipitación máxima, la tendencia positiva de la precipitación en la estación lluviosa y una disminución significativa en la estación seca, lo cual implica que en el periodo húmedo llueve más y en la estación seca llueve menos, indicando que el clima es más extremo.

Palabras clave: caudal ecológico, análisis sistémico.

Introducción

El cambio climático impacta impredeciblemente los sistemas lacustres. Por lo mismo, es necesario generar modelos y

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

metodologías analíticas para predecir sus tendencias y posibles cambios, a fin de efectuar un manejo sustentable de los recursos asociados (Jones y Wigley, 2010; Swart *et al.*, 2009). Para esto, se requiere generar herramientas estandarizadas que evalúen los impactos biofísicos del cambio climático en donde se incluyan los elementos socioeconómicos de los ecosistemas, para generar estrategias que ayuden a enfrentar el efecto del cambio climático en forma armonizada con el desarrollo sostenible (Arnell, 2010; Cohen, 2010; Yarime *et al.*, 2010).

En la actualidad, el ambiente es la clave para la gestión integral de las cuencas. El ambiente es también un usuario más del agua y, en muchos aspectos, debe ser la parte central de la gestión de los recursos hídricos. Esto se considera fundamental para el desarrollo, reducción de la pobreza, salud pública, agricultura, industria y producción de energía, así como en el desarrollo sustentable de las comunidades cercanas a los ríos (Brown y King, 2003; Dyson *et al.*, 2003; Tharme, 2003). Muchos estudios confirman la importancia de la utilización de herramientas científicas como indicadores del desarrollo sostenible y de modelos cuantitativos para dar sustento y fuerza a las decisiones políticas (Poff *et al.*, 2009; Bojórquez *et al.*, 2005; Norton, 2005; Cloquell-Ballester *et al.*, 2007; Thorne *et al.*, 2009; De Smedt, 2010).

En específico, los cambios acumulados en el entorno impactan significativamente a los ríos, corredores fluviales, embalses y ecosistemas asociados; degradan la calidad del agua, disminuyen la capacidad del cauce y hábitats para los peces y vida silvestre, y afectan su valor recreativo y estético (Gustard, 1992; Arthington, 1998 y 2000; FISRWG, 1998; Gafny *et al.*, 2000; Jungwirth *et al.*, 2000; Brown y King, 2003). Por ello, mediante la determinación de la disponibilidad de agua y su repercusión en los caudales ecológicos, los tomadores de decisiones pueden establecer las estrategias de gestión del agua (Boulton, 1999; King *et al.*, 2003).

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

El eficiente manejo del sistema acuático, del corredor fluvial y de los humedales requiere caracterizar los regímenes de caudales, utilizando los parámetros biológicamente relevantes y analizando la magnitud del cambio en los regímenes alterados por el hombre o el cambio climático, en relación con los naturales o preexistentes (anteriores a la alteración hidrológica), así como en función de las condiciones y tendencias de la biota. Los esfuerzos en el manejo del ecosistema deben considerar la necesidad de mantener y restaurar las características naturales de los regímenes hidrológicos, con la finalidad de ordenar y mantener la integridad del ecosistema (TNC, 2006).

Por lo mismo, los estudios de la evaluación del impacto del clima a través de los caudales ecológicos en los ríos son importantes para conservar las especies, evaluar la función y capacidad de recuperación de los ecosistemas acuáticos, y el bienestar de las personas que de ellos dependen, ya que sostienen y proveen de bienes y servicios a la población. Por ejemplo, suministro de agua potable, pesca, recreación, agricultura y energía eléctrica (Komar, 1976; Fisher y Kumer, 2000). Sin embargo, la información limnológica del país es insuficiente y existe dificultad en cuantificar el impacto que ejerce el cambio climático en la calidad del agua y la vulnerabilidad en los cuerpos de agua superficiales. Por lo tanto, en el presente estudio se determina la disponibilidad de agua en las subcuencas del río Usumacinta mediante el análisis de la cantidad y frecuencia de la precipitación, asociada con la cantidad, frecuencia y magnitud de los regímenes de flujo (caudales ecológicos), para determinar cuánto del caudal en los ríos ha sido alterado por los efectos del cambio climático, o bien, la cantidad de cambios introducidos en los regímenes de caudal por influencia humana.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Área de estudio

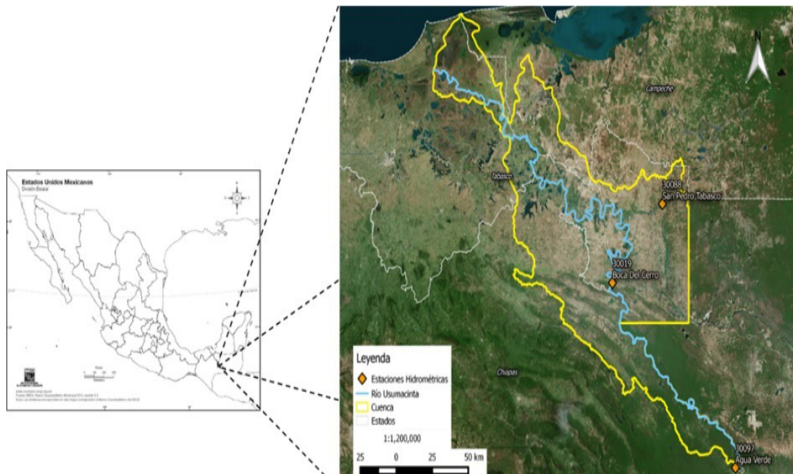
La cuenca del Usumacinta se extiende desde el noroeste de Guatemala hasta los estados de Chiapas y Tabasco, en México, y cubre una superficie de 122 000 km² (Inegi, 1986). La cuenca se ubica en el sureste de México, en las coordenadas geográficas 18.71°-15.22°N y 94.25°-90.38°O. Los ríos Grijalva y Usumacinta drenan hacia el Golfo de México a través de un sistema fluvial rectangular. Es una de las cuencas más importantes de México y América del Norte. Cubre 87 686 km² y, en volumen, el Usumacinta es la corriente más importante en el Golfo de México, después del Mississippi y, el séptimo, en el ámbito mundial. Es una de las principales regiones con mayores precipitaciones en México, especialmente en la transición entre la llanura costera y las sierras centrales, donde la precipitación media anual puede alcanzar más de 4 500 mm, con un caudal promedio anual de 3 727 m³/s (Kolb y Galicia, 2012). La captación anual de agua en esta región equivale al 30% del escurrimiento superficial total del país, según datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2007). La cuenca del Grijalva-Usumacinta nace en Guatemala y es el sistema hidrológico de mayor extensión en Mesoamérica; el río Usumacinta, en su parte media, representa el límite internacional entre México y Guatemala (Rodiles, 2011) (figura 1). Los rasgos geomorfológicos que destacan en ella son la llanura costera del Golfo, en el norte, y el cinturón de pliegues y fallas de Chiapas, en el sur (sierra de Chiapas) (Solís-Castillo *et al.*, 2014).

Desde los Altos de Guatemala, en Huehuetenango, nacen los escurrimientos que forman el río Usumacinta, el más caudaloso de la zona maya. En Guatemala se le conoce como “Chixoy” o “Negro”, y recibe el nombre Usumacinta poco después de asimilar uno de sus brazos principales, el río de la Pasión, que viene desde El Petén. Algunos kilómetros adelante, se une al Usumacinta el río

Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México

Lacantún, lo que incrementa de manera sustancial este torrente cuyo escurrimiento anual sobrepasa los cincuenta millones de m³ (March y Castro, 2016). El régimen hidrológico del río señala los meses de noviembre a mayo como época de secas y, de junio a octubre, estación húmeda (Govinda-Das y Rodilez-Henández, 2013). Asimismo, señalan que el río Usumacinta abarca una superficie total de más de siete millones de hectáreas, superficie equivalente a casi todo el estado de Chiapas, quedando el 58% en territorio de Guatemala y el resto en México. Dentro de la cuenca del Usumacinta se ubica la región de la selva lacandona, en México, y los cuchumatanes, en los Altos de Guatemala y buena parte de El Petén guatemalteco. De los aproximadamente 950 km lineales de la frontera sur de México que hacen contacto con Guatemala y Belice, más de la mitad (550 km) se encuentran dentro de la cuenca del Usumacinta.

Figura 1. Ubicación del río Usumacinta y de las estaciones meteorológicas en este río.



Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Las selvas tropicales se pueden encontrar en la llanura costera húmeda y las zonas bajas del este, mientras que en la depresión central, debido a una doble sombra de lluvia, está dominada por los bosques tropicales secos. En las sierras del norte de Chiapas (1 400-1 800 m), la meseta central o Altos de Chiapas (1 200-2 800 m) y las montañas de Chiapas (1 500-3 050 m) se pueden encontrar los diferentes tipos de bosque templado y nublado. Las enormes cantidades de agua de la superficie alimentan un gran número de cuerpos aguas interiores y costeros, llanuras de inundación y humedales en la llanura costera con una superficie de más de 400 000 ha. Las tierras bajas de la cuenca del río crean un sistema grande y complejo de canales y humedales tropicales productivos (Kolb y Galicia, 2012).

Métodos

Base de datos climatológicos

Para el análisis de la variación de la precipitación, se utilizó una base de datos climatológicos en malla creada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), que cubre el periodo 1960-2008. Para el análisis comparativo de este trabajo, se definen simplemente los periodos: preimpacto (1961-1984) y postimpacto (1985-2008), con idea de comparar los potenciales cambios en la precipitación que hayan podido deberse a cambios en el clima. La base de datos se obtuvo a partir de la base de datos climatológica oficial del SMN que comprende, en su totalidad más de 5 000 estaciones y se almacena en el sistema *CLimatological COMputing* (Clicom). A esta base de datos se le aplicaron algunas pruebas de calidad: 1) remover precipitaciones negativas, 2) revisar las temperaturas máximas menores que o iguales a la temperatura mínima del mismo día (en tales casos, ambas temperaturas fueron colocadas como valores perdidos), 3) revisar los días con el mismo valor repetido

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

diez o más veces consecutivas (excepto para precipitación cero). Para estos casos, todos los valores fueron colocados como valores perdidos; asimismo, se revisaron los valores diarios que excedían significativamente los valores climatológicos. En tales casos, los datos fueron removidos y reemplazados con un valor perdido.

Los datos de la estación, ya filtrados con el análisis de calidad de datos arriba mencionado, fueron interpolados a una malla regular usando el método *Synographic Mapping System (Symap)* (Shepard, 1984). Este método utiliza el promedio ponderado (basado en el inverso del cuadrado de la distancia a la celda de malla en cuestión) de todos los registros en la vecindad de una celda de malla para producir una base de datos diaria para precipitación y temperatura (máxima y mínima) de superficie en una malla de resolución espacial de $1/8^\circ$ para todo México (Zhu y Lettenmier, 2007; Muñoz-Arriola *et al.*, 2009). La plataforma gráfica fue desarrollada por el CICESE (<http://clicom-mex.cicese.mx/malla>).

Los datos filtrados de precipitación fueron analizados mediante gráficos y estadísticos utilizando el programa *Indicators of Hydrological Alteration, TNC 2006 (IHA V7)*, para definir las principales tendencias en la variación temporal de la precipitación diaria. Se tomaron en cuenta los indicadores de alteración hidrológica (IHA, por sus siglas en inglés) y el rango de variabilidad *Range of Variability Approach (RVA)* de las series de tiempo intra e interanuales.

Los datos anteriores se utilizaron para calcular el Índice Normalizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) creado por McKee *et al.* (1993 y 1995), índice muy utilizado para calcular eventos potenciales de sequía o precipitaciones intensas en un lugar determinado. Se utilizaron los rangos de SPI recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012) (Cuadro 1).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Cuadro 1. Valores del Índice Normalizado de Precipitación.

2.0 y más	Extremadamente húmedo.
1.5 a 1.99	Muy húmedo.
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo.
- 0.99 a 0.99	Normal o aproximadamente normal.
- 1.0 a - 1.49	Moderadamente seco.
- 1.5 a - 1.99	Severamente seco.
- 2 y menos	Extremadamente seco

Fuente: OMM, 2012.

Caudales ecológicos

Para el análisis de la información hidrométrica de los periodos de preimpacto y postimpacto en los caudales ecológicos del río Usumacinta, se consideró la estación Boca del Cerro (30019) ubicada en la parte alta de la cuenca del río, por la cantidad de datos disponibles. La ubicación de las estaciones se señala en el cuadro 2 y la figura 1. Los datos fueron analizados mediante gráficos y estadísticos utilizando el programa *IHA V7* para definir las principales tendencias en la variación temporal de los gastos diarios. Se tomaron en cuenta los indicadores IHA y RVA de las series de tiempo intra e interanuales de 32 parámetros hidrológicos, a partir de los caudales medios diarios. Los parámetros se clasificaron dentro de cinco grupos: 1) conteo y duración de pulsos altos y bajos, 2) máximos y mínimos para distintos periodos de interés (1, 3, 7, 30 y 90 días), 3) extremos mínimos y máximos, 4) caudales medios mensuales, y 5) parámetros asociados a la tasa de recambio. Estos cinco grupos del caudal ambiental corresponden a caudales extremos bajos, caudales bajos, caudales altos, pulsos de caudal altos, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones de dos y diez años de retorno, respectivamente. Asimismo, se analizó el rango de variabilidad de los parámetros hidrológicos

Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México

en términos de los procesos relacionados con los requerimientos del ecosistema acuático y ripario. Para cada indicador, se realizó el análisis paramétrico y no paramétrico estimando las medias o medianas y su dispersión, por desviaciones estándar o percentiles para los años considerados. Se compararon las alteraciones impuestas por la regulación del caudal o por los cambios del clima (postimpacto), conforme a su comportamiento en las series de tiempo del sistema natural (preimpacto), dentro del rango de variabilidad de cada parámetro dado por \pm una desviación estándar o entre los percentiles 25 a 75%. Este rango de variabilidad se utilizó para evaluar el impacto del cambio climático o antrópico en los caudales ecológicos en la corriente del Usumacinta, y se establecieron los posibles escenarios para las especies de flora y fauna.

Cuadro 2. Ubicación de las estaciones hidrométricas del río Usumacinta.

Núm. Est.	Nombre	Ubicación	Estado	Periodo	Núm. Años	Longitud	Latitud
30088	San Pedro	Río San Pedro	Tabasco	1 9 6 0 - 2 0 0 8	48	- 91.15	17.79
30019	Boca Del Cerro	Río Usumacinta	Tabasco	1 9 4 8 - 2 0 1 4	66	- 91.48	17.43

Fuente: www.gob.mx/conagua.

Resultados

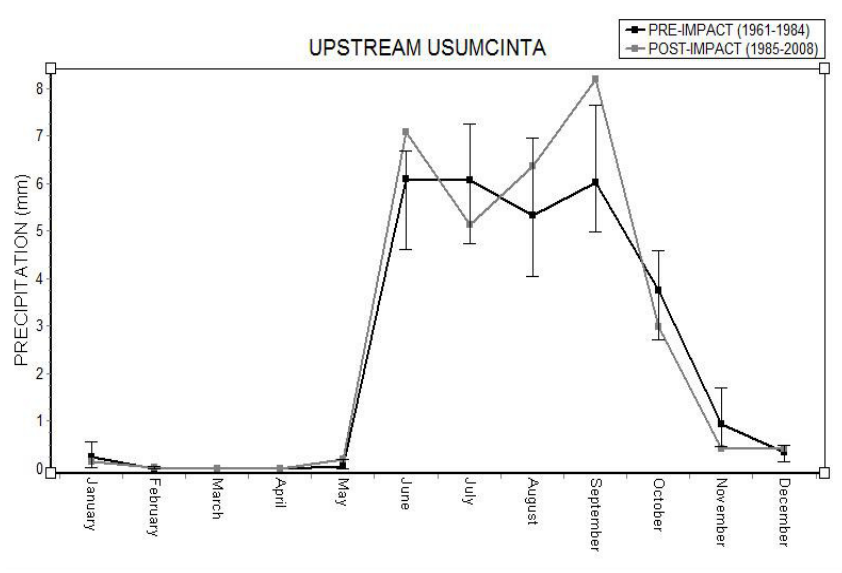
Variación de la precipitación en la cuenca alta del río Usumacinta

La precipitación mensual obtenida del análisis de la malla de resolución espacial de $1/8^\circ$ en el río Usumacinta para la cuenca alta (Boca del Cerro), mediante el *software IHA*, señala diferencias significativas, considerando los rangos de variación de los valores al 25 y 75%, con respecto a la mediana para los meses de junio

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

y septiembre, meses de mayor precipitación, y de la sequía intraestival, entre el periodo de preimpacto (1961-1984) y el de postimpacto (1985-2008). La variación significativa se da en el periodo de lluvias; esto implica que llueve más en la época húmeda en el periodo de postimpacto (figura 2). El análisis histórico de la precipitación durante el periodo de postimpacto (1985-2008), señala la alta intensidad de una tormenta en 2003 (350 mm) y la alta frecuencia de pequeñas tormentas con una precipitación de 105 mm en los años 1977, 1978, 1987, 1988 y 1997. Asimismo, es común la predominancia de los pulsos altos de precipitación (60 mm) en la parte alta de la cuenca del Usumacinta (figura 3).

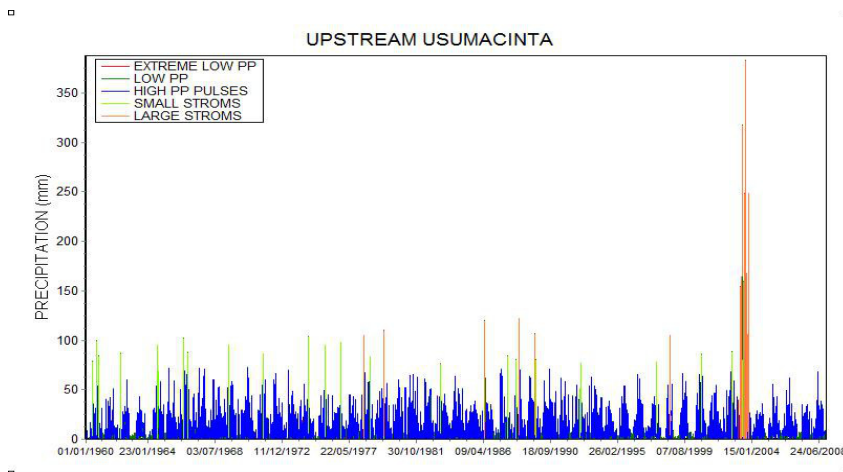
Figura 2. Variación mensual de la precipitación en la cuenca alta del río Usumacinta, entre los periodos de preimpacto y postimpacto.



Fuente: Elaboración propia.

Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México

Figura 3. Comportamiento histórico de la precipitación en la cuenca alta del río Usumacinta.



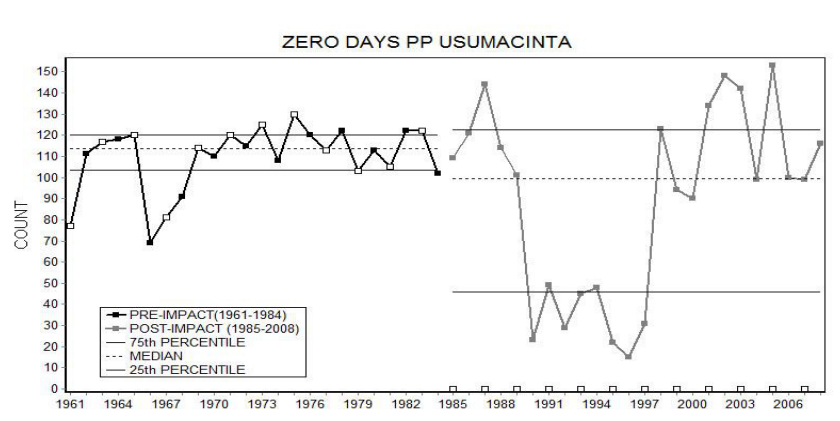
Fuente: Elaboración propia.

En el periodo de postimpacto decrece significativamente el número de días con precipitación cero, sobre todo desde 1989 a 1997, aspecto que puede asociarse a años lluviosos en esta región. Por el contrario, de 1999 a 2008 se incrementa el número de días con cero precipitaciones, que puede ser asociado a años secos. El clima fue más extremo (figura 4).

El análisis de regresión del comportamiento de la precipitación en la cuenca alta del Usumacinta (1960-2008) señala una tendencia negativa significativa de la precipitación en la época de secas y un incremento en lluvias (julio y octubre), aspecto que indica una tendencia a los climas más extremos (cuadro 3 y figura 5).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 4. Variación en el número de días con precipitación de cero durante el periodo de estudio en la cuenca alta del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Análisis de regresión y correlación de la precipitación mensual en la cuenca alta del río Usumacinta.

Mes	Ec. regresión	R ²
Enero	$Y = - 0.020 X + 41.41$	0.042*
Febrero	$Y = - 0.006 X + 13.71$	0.004**
Marzo	$Y = 0.007 X - 12.21$	0.012**
Abril	$Y = - 0.024 X + 49.43$	0.042*
Mayo	$Y = 0.022 X - 38.57$	0.014**
Junio	$Y = 0.076 X - 139.1$	0.089
Julio	$Y = 0.028 X - 47.18$	0.023*
Agosto	$Y = 0.056 X - 102.5$	0.061
Septiembre	$Y = 0.100 X - 187.7$	0.101
Octubre	$Y = 0.023 X - 36.63$	0.010**
Noviembre	$Y = - 0.001 X + 3.29$	0.000**
Diciembre	$Y = - 0.13 X + 29.55$	0.012**

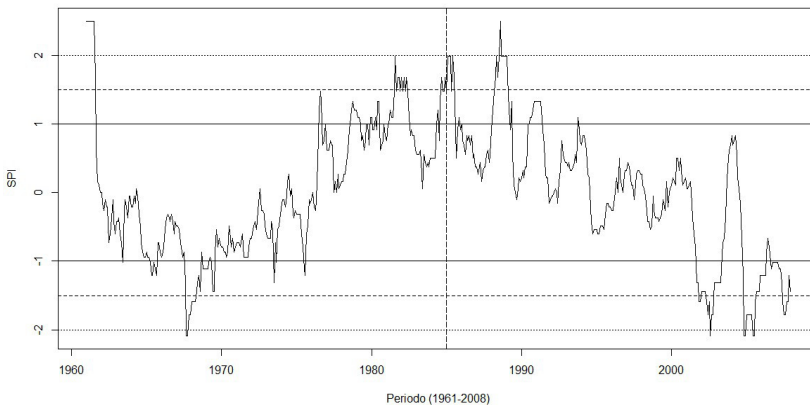
* Significativo. ** Doblemente significativo.

Fuente: Elaboración propia.

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

En cuanto al análisis del índice normalizado de precipitación, se calculó el SPI-12 meses para la cuenca alta (figura 6), donde se hace énfasis a los periodos húmedos y secos de larga duración (alrededor de un año). Para el periodo preimpacto se nota, al principio, un periodo húmedo extremo para los primeros meses de 1961, de ahí viene un decrecimiento paulatino hacia otro periodo seco y de larga duración para finales de los años sesenta. De ahí comienza un ascenso lento del SPI hacia unos periodos húmedos moderados y severos y de larga duración que alcanza su máximo alrededor de mediados de los años ochenta, el cual coincide con la división de los periodos de preimpacto y postimpacto. Para el periodo postimpacto, hay un decremento casi monótono del SPI hasta llegar nuevamente a periodos de sequía moderada y severa hacia el final de este periodo.

Figura 5. Índice normalizado de precipitación SPI-12 meses en la cuenca alta del río Usumacinta (lat: 16.1875°N, long.: 91.3125°O). La línea vertical marca la división del periodo preimpacto (izquierda) y postimpacto (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Variación de la precipitación en la cuenca baja del río Usumacinta

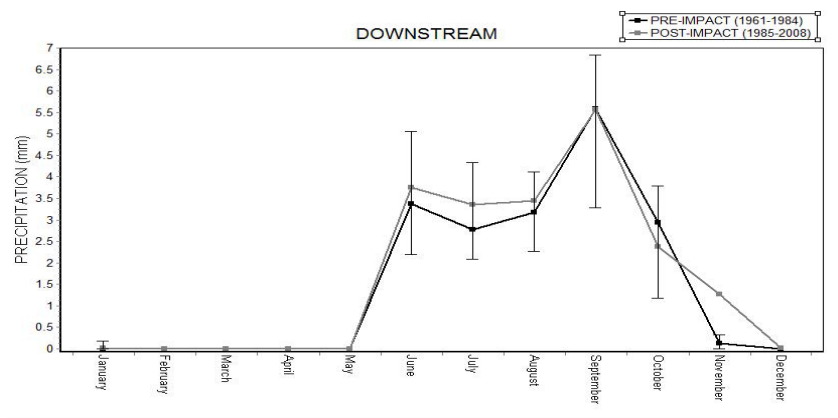
La precipitación mensual en el río Usumacinta, para la cuenca baja, considerando los rangos de variación de los valores al 25 y 75% con respecto a la mediana, señala que el periodo de secas comprende los meses de noviembre a mayo, sin variación significativa entre el periodo de preimpacto (1961-1984) y el de postimpacto (1985-2008), excepto para el mes de noviembre, que muestra un incremento en la precipitación, a diferencia de la cuenca alta que indica el mes de septiembre con mayor precipitación (figura 7).

El análisis del comportamiento histórico de la precipitación durante el periodo de estudio (1961-2008) señala la frecuencia y magnitud de las precipitaciones. Es notoria la alta intensidad de la tormenta de 2003 (180 mm), coincidentemente con la cuenca alta, pero de menor magnitud y la alta frecuencia de pequeñas tormentas con una precipitación de hasta 140 mm (figura 8). Asimismo, los pulsos de precipitación altos de 90 mm son abundantes pero de menor magnitud con respecto a la cuenca alta, situación que indica para esta zona un comportamiento similar con la cuenca alta, pero con menor precipitación.

En el postimpacto se decrementa el número de días con precipitación cero a partir de 1985, aspecto que puede asociarse con años húmedos en esta región (figura 9). Por el contrario, en el periodo de preimpacto, los días con cero de precipitación son más frecuentes, en forma coincidente con la cuenca alta.

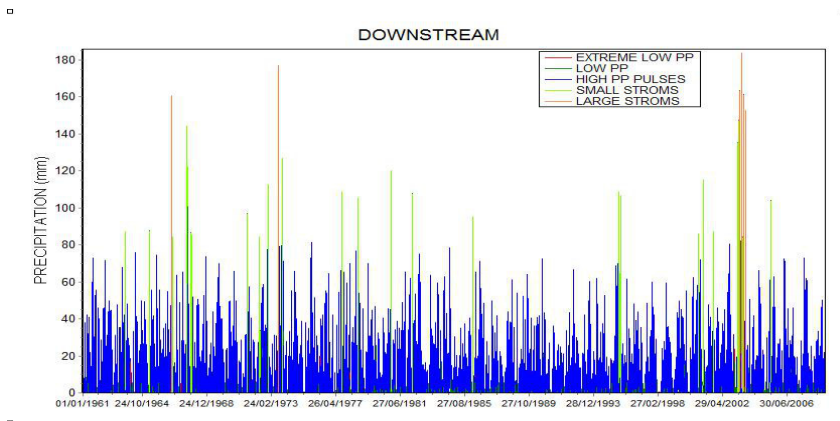
Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México

Figura 6. Variación mensual de la precipitación en la cuenca baja del río Usumacinta, entre el periodo de preimpacto y postimpacto.



Fuente: Elaboración propia.

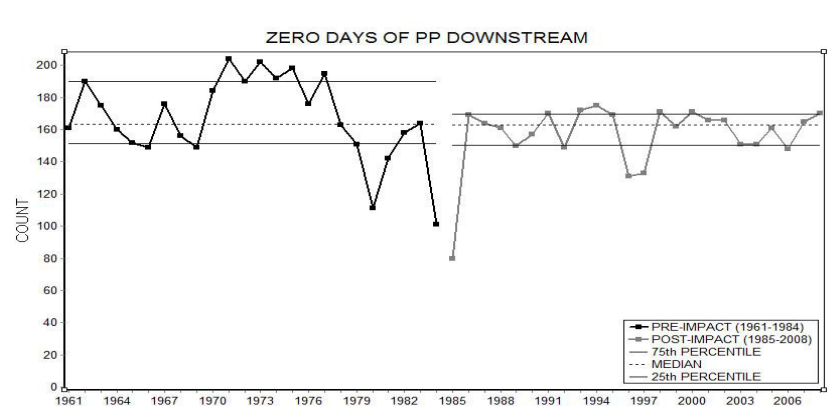
Figura 7. Comportamiento histórico de la precipitación en la cuenca baja del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 8. Variación en el número de días con precipitación de cero durante el periodo de estudio en la cuenca baja del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Tendencia promedio mensual de la precipitación en la cuenca baja del río Usumacinta (regresión y correlación).

Mes	Ecuación de regresión	R ²
Enero	$Y = - 0.022X + 47.49$	0.035*
Febrero	$Y = - 0.0003X + 3.18$	0.000**
Marzo	$Y = - 0.012X + 25.05$	0.016**
Abril	$Y = - 0.023X + 48.18$	0.050*
Mayo	$Y = 0.007X - 10.62$	0.000**
Junio	$Y = - 0.007X - 5.23$	0.001**
Julio	$Y = - 0.005 + 16.53$	0.001**
Agosto	$Y = - 0.008X + 22.37$	0.001**
Septiembre	$Y = - 0.029X + 6879$	0.009**
Octubre	$Y = - 0.018X + 44.32$	0.006**
Noviembre	$Y = 0.020X - 35.26$	0.008**
Diciembre	$Y = - 0.017X + 3773$	0.017**

* Significativo. ** Doblemente significativo.

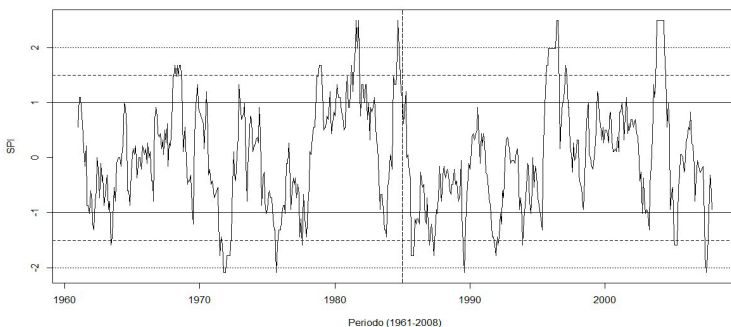
Fuente: Elaboración propia.

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

El análisis de regresión y correlación aplicado al periodo de estudio (1961-2008) para la precipitación en la cuenca baja del río Usumacinta, muestra un decremento significativo en todos los meses del año, a diferencia de la cuenca alta, que sólo se decremента en época de secas (cuadro 4 y figura 10), aspecto que muestra una variación regional de la distribución y tendencia de la precipitación en la subcuenca del Usumacinta.

Por otro lado, el índice normalizado de precipitación SPI-12 meses para la cuenca baja muestra un comportamiento muy diferente al de la cuenca alta (figura 11). Se observa un comportamiento más variable entre periodos húmedos y secos a lo largo del periodo. Son notorios los periodos de sequía dominantes en la década de los años setenta, así como los periodos húmedos en la última parte del periodo preimpacto (1978-1985). Para la primera parte del periodo postimpacto se nota un dominio claro de las sequías (1985-1995); luego, vienen dos periodos húmedos extremos y de largo alcance (1997-2003) para, finalmente, cerrar con dos periodos secos y cortos al final del periodo.

Figura 9. Índice normalizado de precipitación SPI-12 meses en la cuenca baja del río Usumacinta (lat: 17.4375°N, long: 91.3125°O). La línea vertical marca la división del periodo preimpacto (izquierda) y postimpacto (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Caudales ecológicos

Los resultados del análisis de los caudales ecológicos a través del IHA en la subcuenca del río Usumacinta muestran que el día con caudal extremo bajo fue a principios de abril, con 138.8 m³/s, con una duración de cincuenta días. El día con mayor caudal fue el 11 de agosto, con un caudal promedio umbral de 2 293 m³/s y una duración de 11 días. El caudal base fue de 259.9 m³/s y el caudal umbral alto de 2 538 m³/s. Los picos de caudal altos, con 3 328.0 m³/s y una duración de 11 días, a principios de septiembre, y una frecuencia de cinco. Los picos de las pequeñas inundaciones con un caudal de 5 271.0 (m³/s) y una duración de 63 días, a finales de septiembre. Los picos de los caudales de grandes inundaciones, con 6 571.0 m³/s y una duración de 42 días, en la tercera semana de octubre. Estos caudales proporcionan información para establecer las propuestas y estrategias para el manejo racional de los recursos acuáticos y la valoración del efecto del cambio climático en los ríos, entre los periodos de preimpacto y postimpacto en los caudales ecológicos, como puede observarse en el cuadro 5.

Cuadro 5. Caudal ecológico para la parte alta de la cuenca del río Usumacinta (estación hidrométrica 30019, Boca del Cerro).

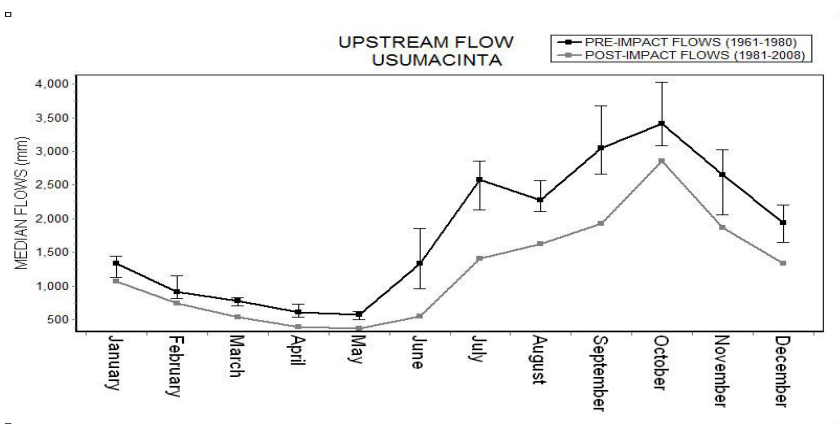
Grupo	Caudal (M ³ /S) Pre y Post-impacto	Duración y época
Caudal extremo bajo	138.8	Mes y medio entre abril y mayo.
Caudal bajo	255.9	Parte restante del año.
Caudal alto	2861.0	En agosto.
Pulsos de caudal alto	3328.0	En agosto por 12 días, cinco veces.
Pequeñas inundaciones	5271.0	Por 63 días en agosto y septiembre, cada dos años.
Grandes inundaciones	6571.0	Por 42 días a finales de septiembre, cada diez años.

Fuente: Elaboración propia.

Caudales promedio mensual

El análisis comparativo de los caudales promedio mensual en la subcuenca del río Usumacinta, entre los periodos de preimpacto (1961-1984) y postimpacto (1985-2008), señala que los caudales fueron de 567.2 a 367.3 (mayo) y de 3 048 a 1 920 m³/s (septiembre). Esto señala el abatimiento significativo de los caudales para los meses de lluvias en el postimpacto, y que no coincide con el incremento de la precipitación para este periodo y en esta parte de la subcuenca, aunque esto pudiera tener relación con el incremento de la sequía en este periodo. El índice de caudal base de 0.25 a 0.06 m³/s indica un abatimiento mensual del caudal natural significativo en la época de lluvias en el periodo de postimpacto (junio a septiembre) (figura 10).

Figura 10. Caudales promedio mensual en la cuenca alta del río Usumacinta y para los periodos de preimpacto y postimpacto.



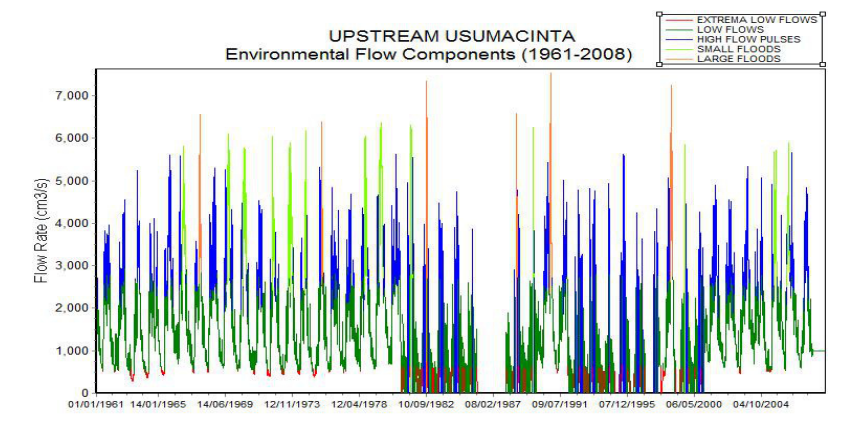
Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Componentes del caudal ecológico

Los componentes de caudal ecológico en la subcuenca del río Usumacinta, entre el preimpacto y el postimpacto para los caudales extremos bajos y caudales bajos, señala que estos fueron más frecuentes en el postimpacto (1980 a 2000), así como las pequeñas inundaciones, que coinciden con un periodo de sequía. Ello implica que el caudal natural muestra una pequeña merma en los periodos de secas y un incremento en los periodos de lluvias, haciéndose evidente el cambio hacia condiciones más extremas y coincidentes con los cambios de precipitación (figura 11).

Figura 11. Componentes del caudal ecológico o ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

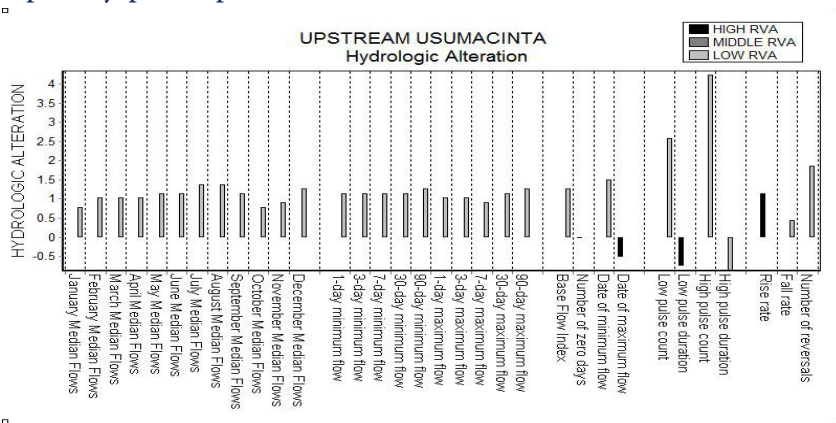
Componentes de alteración hidrológica entre los periodos de preimpacto y postimpacto

Los componentes de alteración hidrológica señala alteraciones entre el periodo de preimpacto y postimpacto, correspondientes a: 1) incremento de los caudales promedio mensual de todos los meses del año, 2) incremento en las cantidad pulsos de caudal

Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México

bajo y caudal alto, 3) incremento en el número de inversiones del caudal y tasa de cambio. Por el contrario, a: 1) alteración de la fecha en que se da el máximo caudal, 2) decremento en la duración de los pulsos de caudal bajo y en los pulsos de caudal altos, 3) incremento de la duración de los pulsos bajos y 4) aumento en la tasa de incremento de los caudales. Todos estos factores señalan que las lluvias son más torrenciales y que existen periodos de sequía más prolongados durante el año para el periodo de postimpacto (figura 12).

Figura 12. Alteración de los caudales ecológicos en los periodos de preimpacto y postimpacto, en la subcuenca del río Usumacinta.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de regresión y correlación de los caudales en el tiempo

El análisis de regresión y correlación lineal de los caudales en el periodo de estudio 1961-2008, para la subcuenca del río Usumacinta, señalan a la época de lluvias con una tendencia negativa no significativa en los caudales y con decrementos

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

significativos en los meses de noviembre y diciembre. Por el contrario, la época de secas muestra un incremento en los caudales en forma significativa. La menor cantidad de caudal puede deberse a los cambios en la cantidad y magnitud de las precipitaciones (sequías y lluvias más pronunciadas) por efectos del cambio climático que repercute en los caudales, aunado al uso del recurso por influencia humana (cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de regresión y correlación de los caudales mensuales en el periodo de estudio (1961-2008), en la estación hidrométrica Boca de Cerro (30019).

Mes	Ec. regresión	R ²
Enero	Y = 4.535X - 7736	0.035*
Febrero	Y = 2.717X - 4414	0.017*
Marzo	Y = 0.687X - 616.1	0.001**
Abril	Y = 2.717X - 2561	0.006**
Mayo	Y = 0.0193X - 558.2	0.000**
Junio	Y = 5.97X + 12980	0.001**
Julio	Y = - 21.8X + 45230	0.087
Agosto	Y = - 19.72X + 41140	0.080
Septiembre	Y = - 26.69X + 55560	0.096
Octubre	Y = - 19.13X + 41010	0.057
Noviembre	Y = - 16.27X + 34580	0.047*
Diciembre	Y = - 2.302X 6290	0.001*

* Significativo. ** Doblemente significativo.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El incremento en la precipitación mensual en la cuenca alta en la época de lluvias y un decremento en la época de secas en el periodo de postimpacto (decremento significativo en el número de días con precipitación cero de 1989 a 1997) puede asociarse con años lluviosos. El incremento en el número de días con cero precipitación de 1999 a 2008 puede asociarse con años secos y a que el clima se hace más extremo. Asimismo, el análisis de regresión en el tiempo de la precipitación en la cuenca alta del Usumacinta (1960-2008) señala una tendencia negativa significativa de la precipitación en la época de secas y un incremento en lluvias (julio y octubre), y la mayor intensidad de las precipitaciones (incremento en el número de días al año con una mayor amplitud en las precipitaciones) muestran la tendencia hacia los climas extremos y los efectos del cambio climático, situación que coincide con lo señalado por Kobashi *et al.* (2009), Link y Tol (2009), donde los gases de efecto invernadero en el mundo pueden dar lugar a inundaciones y sequías. Y dependiendo de la temporada y la latitud, estos pueden ser más severos y frecuentes, aspecto que genera cambios hidrológicos en los ríos y, por lo mismo, un cambio en la disponibilidad de agua. De igual forma, señala Wetherald (2009) un aumento de las precipitaciones en las regiones tropicales, así como en las latitudes más altas en casi todas partes del mundo, y una disminución general de las precipitaciones.

El análisis de regresión y correlación en la cuenca baja del río Usumacinta muestra un decremento significativo en todos los meses del año (excepto para mayo y noviembre), aspecto que indica la tendencia negativa de la precipitación, a diferencia de la cuenca alta, que sólo se decrementa en época de secas (cuadro 7). Esto señala una variación regional de la distribución

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

y tendencia de la precipitación en la subcuenca. Asimismo, para la subcuenca baja del Usumacinta, el alto incremento de los días con precipitación cero puede asociarse a un periodo de años secos y, con ello, a la variación regional en la disponibilidad de agua.

La cuenca del Usumacinta es relevante por los servicios ecológicos o ambientales de importancia económica directa. Entre otros, cabe mencionar los volúmenes de carbono capturado en las masas forestales, la captación y aportación de agua y nutrientes a las tierras del norte de Chiapas y Tabasco (cuenca baja), así como a las zonas estuarinas de importancia para las pesquerías en la costa del Golfo de México. Las selvas y bosques de la cuenca del Usumacinta son parte de los “sumideros” de carbono de mayor relevancia en Mesoamérica (Cairns *et al.*, 2000; De Jong *et al.*, 2005a; Rodríguez y Pratt, 1998; Montoya *et al.*, 2000, March y Castro, 2016), aspectos que pueden ser perturbados con los cambios en la disponibilidad de agua en la zona por efectos del cambio climático.

El análisis comparativo de los caudales promedio mensual en la cuenca alta del río Usumacinta, entre los periodos de preimpacto (1961-1984) y postimpacto (1985-2008), señala que los caudales fueron de 567.2 a 367.3, en mayo, y de 3 048 a 1 920 m³/s, en septiembre. Esto indica el abatimiento significativo de los caudales para los meses de lluvias en el postimpacto, y que no coincide con el incremento de la precipitación para este periodo y en esta parte de la cuenca. Asimismo, los componentes de caudal ecológico muestran las mayores variaciones para los caudales extremos bajos y caudales bajos, más frecuentes en el postimpacto (1980 a 2000) y en las pequeñas inundaciones, que coinciden con un periodo de sequía. Ello implica que el caudal natural muestra una pequeña merma en los periodos de secas y un incremento

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

en lluvias, haciéndose evidente el cambio hacia condiciones más extremas y coincidentes con los cambios de precipitación. El análisis de regresión y correlación lineal señalaron, para la época de secas, un incremento significativo en los caudales. La mayor cantidad de caudal en secas puede deberse a los cambios en la cantidad y magnitud de las precipitaciones (sequías y lluvias más pronunciadas) por efectos del cambio climático que repercute en los caudales, aunado al uso del recurso por influencia humana. De la Maza y Carabias (2011) mencionan que las principales causas de deterioro en la cuenca del Usumacinta se deben a: acelerado cambio de uso del suelo, colonización no planificada, explotación irracional de los recursos forestales, uso indiscriminado del fuego en actividades agropecuarias, desarrollo desordenado inducido por la explotación petrolera, incremento de incendios forestales en época de secas, magnitud de las inundaciones y, probablemente, por los efectos del cambio climático en los regímenes de lluvias.

Los procesos ecológicos esenciales de la cuenca en el Usumacinta dependen de la zona alta ubicada en Guatemala y de la Selva Lacandona de Chiapas (INIREB, 1988). La ecología de los pantanos de la cuenca baja es de gran importancia para las poblaciones de aves migratorias que ahí se refugian y, también, para las pesquerías del Golfo de México; dependen de los nutrientes aportados por los ecosistemas de la cuenca alta y media que son transportados a través de la red hidrológica (March y Castro, 2016). Diversas especies amenazadas o en peligro de extinción requieren de esta conectividad para mantener la salud de sus poblaciones. Entre otras, se pueden mencionar el manatí *Trichechus manatus*, el cocodrilo *Crocodylus acutus* y *C. moreletii*, y la tortuga blanca *Dermatemys mawii* (March y Castro, 2016). Por lo mismo, esta cuenca puede convertirse en un espacio para la captura de emisiones de CO₂ mediante la conservación de espacios naturales, eliminando el uso del fuego agropecuario y con manejo óptimo de la ganadería

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

para abatir las emisiones de metano. Sin embargo, las actuales tendencias de cambio de uso del suelo, sobreexplotación de recursos silvestres, alteraciones por el sector energético, contaminación, crecimiento y dispersión de la población, expansión de la frontera agropecuaria, falta de gobernanza y el cambio climático pueden conducir a la degradación social, económica y política del área (De la Maza y Carabias, 2011).

Los estudios de evaluación del impacto del clima en los caudales ecológicos y ambientales son importantes para la conservación de las especies y la evaluación de la función y capacidad de recuperación de los ecosistemas acuáticos, así como para el bienestar de las personas que dependen de los ríos. Por lo tanto, es necesario determinar la cantidad y frecuencia de los regímenes de flujo en los ríos. La ventaja de la determinación de los caudales ambientales y ecológicos es que los tomadores de decisiones pueden saber cuánto del flujo puede ser usado para los propósitos de la población y cuántos cambios se han introducido en los patrones de flujo de los ríos por el consumo humano o el cambio climático (Boulton, 1999; King *et al.*, 2000; Brown & King, 2003b; Capilla *et al.*, 1997).

La adaptación al cambio climático requiere de la determinación del régimen de caudales en los ríos, como: cambio en el consumo de agua para compensar las tasas de precipitación, traslado de industrias a regiones de mayor humedad o cambio en la morfología de las ciudades para compensar las inundaciones. Los caudales ecológicos (caudal extremo bajo, caudal bajo, caudales altos, pulsos de caudal alto, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones) proporcionan la información a fin de establecer las propuestas y estrategias para el manejo racional de los recursos acuáticos y la valoración del efecto del cambio climático en los ríos entre los periodos de preimpacto y postimpacto.

Agradecimientos

Al financiamiento otorgado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental Semarnat-Conacyt, Convocatoria S0010-2014-1, a través del proyecto 249435.

Bibliografía

- Arnell, N. W. (2010). "Adapting to climate change: an evolving research programme", 100: 107-111.
- Arthington, A. H. (1998). "Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques". *Review of Holistic Methodologies*. Occasional Paper No. 26/98. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Canberra, Australia.
- Arthington, A. H., S. O. Brizga, S. C. Choy, M. J. Kennard, S. J. Mackay, R. O. McCosker, J. L. Ruffini & J. M. Zalucki (2000). *Environmental flow requirements of the Brisbane River downstream of Wivenhoe Dam*. South East Queensland Water Corporation, and Centre for Catchment and In-Stream Research, Griffith University, Brisbane, Australia.
- Bautista J. C. A. (2011). *APFF Cañón del Usumacinta*. Disponible en la World Web Wise: <http://regiongolfodemexico.conanp.gob.mx/usumacinta.php#.VrI17eYjZmw>. Consultado el 03 de febrero de 2016.
- Bojórquez-Tapia, L. A., S. Sánchez-Colón & A. Flores (2005). "Building consensus in environmental impact assessment through multicriteria modeling and sensitivity analysis", *Environmental Management*, 36(3): 469-481.
- Boulton, A. J. (1999). "An overview of river health assessment: Philosophies, practice, problems and prognosis", *Freshwater Biology*, 41: 469-479.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Brown, C. y J. King (2003). "Environmental flows: concepts and methods". En: *Water resource and environment Technical Note 1*. Davis, R. y R. Hirji (Eds.) The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington DC.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2014). *Statistics on water in Mexico*, National Water Commission, México.
- Cloquell-Ballester, V. A., R. Monterde-Díaz, V. A. Cloquell-Ballester & M. C. Santamarina-Siurana (2007). "Systematic comparative and sensitivity analyses of additive and outranking techniques for supporting impact significance assessments", *Environmental Impact Assessment Review* 27: 62-83.
- Cohen, S. J. (2010). "From observer to extension agent—using research experiences to enable proactive response to climate change", *Climatic Change*, 100: 131-135.
- De la Maza, J. y J. Carabias (2011). *Usumacinta. Bases para una política de sustentabilidad ambiental*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Natura y Ecosistemas Mexicanos, A. C., México.
- De Smedt, P. (2010). "The use of impact assessment tools to support sustainable policy objectives in Europe", *Ecology and Society* 15(4): 30.
- Dyson, M., G. Bergkamp y J. Scanlon, J. (2003). *Flow*, Editorial UICN, UK. 125 pp.
- Fischer, S. y H. Kummer (2000). "Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream", *Hydrobiologia*, 422/423:305-317.
- FISR WG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group) (1998). *Stream corridor restoration principles, processes, and practices*, USA Government.

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

- Gafny, S., M. Goren y A. Gasith (2000). "Habitat condition and fish assemblage structure in a coastal mediterranean stream (Yarqon, Israel) receiving domestic effluent", *Hydrobiologia*, 422/423: 319-330.
- Govinda-Das, H. L., R. Rodiles-Hernández y K. A. Capps (2013). Nesting burrows and behavior of nonnative carfishes (*Siluriformes: Loricariidae*) in the Usumacinta-Grijalva watershed, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 58(2): 238-243.
- Gutiérrez, M., E. Carreón-Hernández (2004). "Salinidad en el bajo río Conchos: aportes y tendencias", Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., *Terra Latinoamericana* vol. 22, núm. 4, pp. 499-506, Chapingo, México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311096015>.
- Gustard, A. (1992). "Analysis of River Regimes". Calow and Petts (Eds.). *The Rivers Handbook*, vol. I. John Wiley & Sons.
- Inegi (1986), *Síntesis geográfica y anexo cartográfico del estado de Tabasco*, México, DF., 118 pp.
- Jones, Ph. D., & T. M. L. Wigley (2010). "Estimation of global temperature trends: what's buckets important and what isn't", *Climatic Change*, 100:59-69.
- Jungwirth, M., S. Muhar y S. Schmutz (2000). "Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept", *Hydrobiologia*, 422/423:85-97.
- King, J., C. Brown, y H. Sabet (2003), "A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers", *River Research and Applications*, 19: 619-639.
- Kolb M. y L. Galicia (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, doi: 10.1111/j.1475-4959.2011.00431.x.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Komar, P. D. (1976). *Beach processes and sedimentation*, Englewood Cliff, N. J. Prentice Hall, 429 pp.
- March, M. I., M. Castro (2016). *La cuenca del Río Usumacinta: perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable*, Inecc (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en la World Web Wise: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/rusumacinta.pdf>. Consulta: 26/enero/2016.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, vol. 17, No. 22, pp. 179-183.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1995). "Drought monitoring with multiple time scales", *Procc. 9th Conf. on Applied Climatology*, January 15-20, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, pp. 233-236.
- Muñoz-Arriola, F., R. Avissar, C. Zhu, & D. P. Lettenmaier (2009). "Sensitivity of the water resources of rio Yaqui Basin, Mexico, to agriculture extensification under multiscale climate conditions", *Wat. Res. Res.*, vol. 45 (11), Doi: 10.1029/2007WR006783.
- Norton, B. G. (2005) *Sustainability: a philosophy of adaptive ecosystem management*, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- OMM (2012). *Índice normalizado de precipitación*. Guía del usuario, OMM-No. 1090. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/lsp/meteoterm_wmo_es.html
- Poff, N. L.; Richter, B. D.; Arthington, A. H.; Bunn, S.; Naiman, R. J.; Kendy, E.; Acreman, M.; Apse, C.; Bledsoe, B. P.; Freeman, M. C.; Henriksen, J.; Jacobson, R. B.; Kennen, J. G.; Merritt, D. M.; O'Keefee, J. H.; Olden, J. D.; Rogers, K.; Tharme, R. E.

*Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua
en el caudal del río Usumacinta, México*

- & Warner, A. (2009). "The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards". *Freshwater Biology*.
- Rodiles-Hernández R., González-Díaz, A. A. y E. Pérez-Mora (2011). *Inventario ictiofaunístico en tres regiones hidrológicas prioritarias de la cuenca del Grijalva-Usumacinta en el estado de Chiapas*, El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur-Unidad San Cristóbal). Informe final SNIB-Conabio proyecto No. FM020, México, DF.
- Shepard, D. S. (1984). "Computer mapping: the Symp interpolation algorithm". *Spatial Statistics and Models*, G. L. Gaile and C. J. Willmott (Eds), 133-145.
- Solís-Castillo, B., Ortiz-Pérez, M. A. y Solleiro-Rebolled, E. (2014). "Unidades geomorfológico-ambientales de las tierras bajas mayas de Tabasco-Chiapas en el Río Usumacinta: un registro de los procesos aluviales y pedológicos durante el Cuaternario", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66 (2): 279-290.
- Swart, R., Bernstein, L., Ha-Duong, M., & Petersen. A. (2010). "Agreeing to disagree: uncertainty management in assessing climate change, impacts and responses by the IPCC". *Climatic Change*, 92, 1-29.
- Tharme, R. E. (2003). "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers", *River Research and Applications*, 19. 397-441.
- TNC (The Nature Conservancy) (2006). *Indicators of hydrologic alteration. Versión 7 Manual de usuario*, USA.
- Thorne, J. H., Huber, P. R., Girvetz, E. H., Quinn, J. & McCoy, M. C (2009). "Integration of regional mitigation assessment and conservation planning", *Ecology and Society*, 14(1), 47.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Yarime, M., Y. Takeda, & Y. Kajikawa (2010). "Towards institutional analysis of sustainability science: a quantitative examination of the patterns of research collaboration", *Sustain Sci.*, 5: 115-125.
- Zhu, Chunmei, & Dennis P. Lettenmaier (2007). "Long-term climate and derived surface hydrology and energy flux data for Mexico: 1925-2004", *J. Climate*, 20, 1936-1946.





Río Usumacinta



Fotografía
Centro de Cambio Global
y la Sustentabilidad

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social.

Resumen Ejecutivo 2015

Mercedes Andrade Velázquez
Compiladora

Resumen

En este capítulo se hace una breve descripción, tratando de mantener la información sustancial del Resumen Ejecutivo 2015 del proyecto TAB-2012-C28-194316, titulado *Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social*. En el proyecto se conjuntó a investigadores y estudiantes de diferentes áreas. Las metodologías empleadas por cada disciplina va desde el levantamiento de información de índole social, análisis in situ de especies en flora y fauna hasta el empleo de información satelital con la finalidad converger en un estudio base sobre las condiciones globales de la cuenca baja del Usumacinta y establecer un plan de manejo territorial que lleve a un mejor modelo de gestión para la sustentabilidad de la región.

Palabras clave: cuenca baja del Usumacinta, biodiversidad, sustentabilidad.

Agradecimientos

Al Dr. Rafael Loyola Díaz por sus comentarios para la mejora del escrito.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Introducción

La visión del proyecto TAB-2012-C-28-194316 *Retos para la sustentabilidad en la Cuenca Baja del río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social* se realizó de manera integral y transdisciplinaria para analizar el progreso paulatino de los procesos ambientales y sociales a diferentes escalas en la cuenca baja del Usumacinta en Tabasco.

El proyecto tuvo como objetivo general:

contribuir a sentar las bases de un modelo de desarrollo regional con sustentabilidad ambiental, social y económica que contemple los desafíos del cambio climático, a partir de la creación de conocimiento científico sobre la conservación, manejo y restauración de los ecosistemas terrestres, humedales y acuáticos, y del desarrollo de fuentes renovables de energía en la porción tabasqueña de la cuenca del Usumacinta; ello como estrategia para focalizar esfuerzos en la región y definir una agenda de investigación de largo plazo (CCGSS, 2015a:1).

Los objetivos particulares fueron (CCGSS, 2015a:1-2):

- 1) Revisar, actualizar y proponer el ajuste a la escala municipal del ordenamiento ecológico del territorio, incluyendo los ecosistemas terrestres, acuáticos y de humedales bajo escenarios de cambio climático;
- 2) Evaluar ecosistemas terrestres, acuáticos y humedales en la región de estudio, identificando su nivel de vulnerabilidad a eventos climáticos o ambientales extremos;
- 3) Elaborar un diagnóstico del estado de los recursos hídricos de la región;

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

- 4) Determinar la viabilidad, mediante los estudios de la importancia biológica, económica y social, de la incorporación de ecosistemas detectados en buen estado de conservación al régimen de áreas naturales protegidas;
- 5) Proponer opciones productivas sustentables para conservación de los ecosistemas naturales;
- 6) Diseñar modelos de reconversión productiva (agrosilvopastorales) como alternativa de aprovechamiento integral sustentable incluyendo el recurso hídrico;
- 7) Proponer sistemas forestales para la restauración de áreas degradadas usando preferentemente especies maderables y/o con uso como biocombustibles y establecer sistemas de manejo adecuados;
- 8) Promover opciones para la transición energética mediante el diseño e implementación de proyectos de desarrollo tecnológico para la producción de energía solar fotovoltaica y térmica, así como eólica y ensayos con centrales hidráulicas mini, micro y pequeñas;
- 9) Establecer estrategias para la restauración ecológica de ecosistemas prioritarios: cuerpos de agua; vegetación riparia, y áreas prioritarias por su valor biológico y de servicios ambientales, e implementarlas en sitios específicos identificados;
- 10) Encaminar la creación de la unidad de capacitación, integración, consulta, procesamiento y análisis de datos;

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- 11) Definir una estrategia y un modelo de monitoreo y avanzar hacia la integración de información existente sobre monitoreo ambiental, meteorología y clima;
- 12) Apoyar el desarrollo de capacidades institucionales en la interfaz académica y gobierno;
- 13) Diseñar un programa de especialidad y uno de maestría que contribuyan a enriquecer la oferta académica en el Estado;
- 14) Incrementar el número de investigadores que trabajan en la región (CCGSS, 2015a).

Para alcanzar estos objetivos, el proyecto se construyó a partir de conjuntar a distintas instituciones (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-UJAT, El Colegio de la Frontera Sur-ECOSUR; Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM; Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A. C. -Centro Geo) y de distintos grupos de investigación, entre estudiantes e investigadores, principalmente. Cada uno de ellos parte de enfoques, objetivos y metodologías distintas, el reto por lo tanto fue desde el principio integrar estas visiones y metodologías. Este proyecto también permitió el desarrollo de diversas disciplinas científicas que en su conjunto sumando un gran número de líneas de investigación en las que se logró un avance importante. Entre dichas líneas de investigación se mencionan las siguientes: energías renovables (fuentes), socioeconomía, reconversión productiva, sistemas de producción, ecología terrestre, ecología acuática, conservación, manejo y restauración de ecosistemas naturales e intervenidos, entre otras. Esto permitió resolver problemas pero también identificar nuevas interrogantes (CCGSS, 2015a:2).

Metodología

La metodología seguida se dividió en dos etapas, para la primera parte el acopio y revisión de una amplia recopilación bibliográfica de estudios realizados en la región sobre el tema, fue la componente principal, así como de los resultados de las diferentes investigaciones realizadas dentro del proyecto. El enfoque fue multiescala, el cual derivó en caracterizar a la región de estudio en su parte baja y se identificaran dos subregiones dentro de ésta. Para entender los procesos de uso y manejo del territorio en mayor detalle se procedió a seleccionar siete localidades representativas de la subregión de Los Ríos con la expectativa de que, al ser representativas, puedan, tras un proceso de validación (no programado en este estudio) generalizarse para la subregión; de tal manera que esta aproximación de análisis, se replique a otra subregión de la cuenca baja para entender así el conjunto de toda la región (CCGSS, 2015b:3).

En la segunda parte se sistematizaron los esfuerzos y mecanismos previos para mantener la calidad de los procesos socio-ambientales en la cuenca baja del Usumacinta en Tabasco, así como al análisis de los retos para orientar a la región hacia el desarrollo sustentable (CCGSS, 2015b:3).

Los resultados esperados fueron: una propuesta de modelación de algunos elementos del sistema físico - biológico y un documento de escenarios en los que se conjugan las variables de cambio climático, población y degradación de los ecosistemas arbóreos, así como un análisis de información sobre biodiversidad y percepción remota para identificar áreas prioritarias para la implementación de políticas públicas de conservación, sus amenazas y oportunidades para la conservación (CCGSS, 2015b:3).

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Análisis

El análisis de información fue llevada a cabo por cada grupo de trabajo de acuerdo al objeto de estudio, en esta sección se ejemplifican los correspondientes al sistema natural (CCGSS, 2015c).

1.- Balance hídrico de la cuenca del río Usumacinta (CCGSS, 2015c: 6).

Para determinar las zonas de escurrimiento y clasificación de humedales, se usaron datos de cobertura terrestre y textura de suelos y así determinar una curva específica para cada combinación de datos. Cabe mencionar que la curva específica se define mediante el método reportado por el Servicio de Conservación del Suelo (USDA, 1986).

2.- Aspectos climáticos de la cuenca del Usumacinta (CCGSS, 2015c: 15-16).

Para la construcción de superficies climáticas se usaron las 5000 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (Vázquez-Aguirre, 2006), donde el 75% cuenta con 20 años de registro y 45% con 30 años (Vidal, 2005). Se interpoló el ruido de acuerdo a Hutchinson, 2006 y con herramientas estadísticas y archivos raster se generaron las superficies climáticas.

3.- Degradación de la cobertura vegetal en la cuenca baja del Usumacinta en Tabasco en el período 2003-2014 (CCGSS, 2015c: 25).

Para este caso, se realizó el procesamiento de imágenes satelitales mediante el método Monte Carlo y el método

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

de cobertura fraccional (Hutchinson *et al.*, 2009). Se obtuvieron los valores de degradación para los períodos analizados para identificar los cambios en diferentes escenarios.

4.- Distribución de la diversidad de vertebrados en la cuenca del río Usumacinta: (CCGSS, 2015c: 40): áreas naturales protegidas, especies y prioridades de conservación.

Se analizó la información para tres grupos de vertebrados de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2012) y se clasificaron. Posteriormente se definieron las áreas prioritarias en base a la riqueza de especies con respecto al total de especies.

Resultados

Componente ambiental-físico

La cuenca baja del Usumacinta tiene un importante valor para el Sureste Mexicano, y para el planeta, dada su diversidad biológica y ambiental (Figura 1). La cuenca esta comprendida en los estados de Tabasco, Chiapas, Campeche y el vecino país de Guatemala. El territorio tabasqueño que la forma representa el 54.9% del total, cuya extensión abarca los municipios de Balacán, Centla, Emiliano Zapata, Jonuta y Tenosique. A continuación se enuncia su caracterización ambiental relevante en: a) Ecosistemas y biodiversidad, b) Degradación de la vegetación, y c) Componente hidrológico.

a) Ecosistemas y biodiversidad. El río Usumacinta se considera en el sureste como activo, pues naturalmente

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

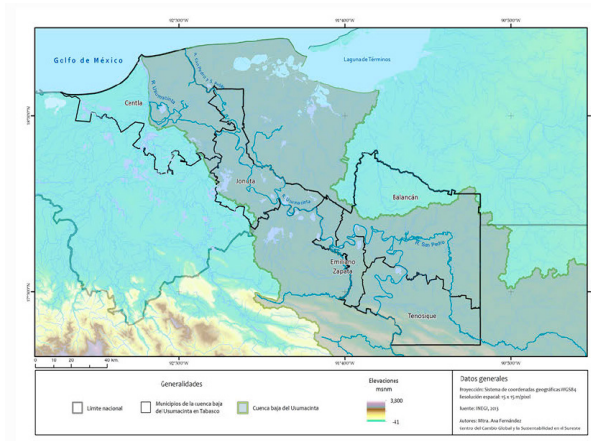
mantiene su dinámica de inundación, resultando en la manutención de su biodiversidad, como son las selvas medianas y altas perennifolias, humedales, manglares, vegetación ribereña, popales y tulares y pastizales inducidos. Los humedales son sistemas de transición entre sistema terrestre y acuático, cuyo origen se deriva del relieve de la región (llanuras aluviales, planicies de inundación), estos se encuentran en los municipios de la cuenca baja, en donde Centla y Jonuta cuentan con mayor extensión. Su riqueza se refleja en el control de inundaciones y retención de sedimentos y nutrientes a nivel ecológico, y a nivel económico son fuente de alimento y producción de energía. Su biodiversidad alberga al menos 27 especies de anfibios, 105 reptiles, 81 peces dulceacuícolas, 441 aves y 130 mamíferos. No obstante la pérdida de hábitat y sobreexplotación de algunas de estas especies, las han llegado a catalogar como especies amenazadas de fauna y flora silvestre (Carabias *et al.*, 2015).

- b) Degradación de la vegetación (Figura 2). La degradación vegetal determina la salud del sistema, su capacidad de reproducción y la diversidad de especies. La cuenca baja ha presentado una contundente degradación vegetal, debido a la extensión de suelos destinados a la producción agropecuaria, una de las actividades productivas de la región (Carabias *et al.*, 2015).
- c) Sistema hidrológico. Las zonas de baja capacidad de almacenamiento son las que forman los humedales de la región, estos reciben una gran cantidad de agua debido a la escorrentía superficial. Sin embargo, estas zonas las están transformando en monocultivos,

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Rio Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

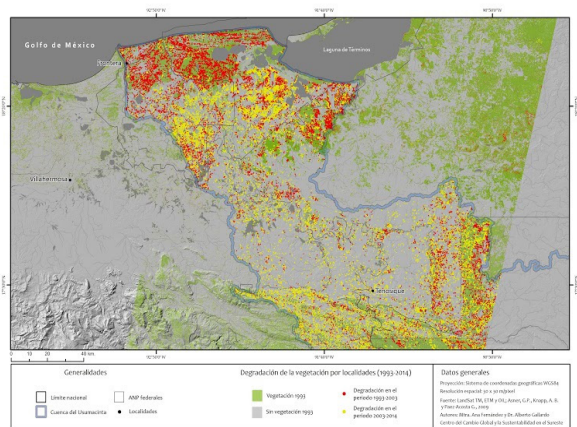
provocando pérdida del recurso hidrológico de la región (Carabias *et al.*, 2015).

Figura 1. Cuenca baja del Usumacinta en Tabasco.



Fuente: Carabias *et al.*, 2015- Resumen Ejecutivo (RSCBRUT).

Figura 2. Degradación de la vegetación en el periodo 1993-2004 en la cuenca baja del Usumacinta (ha)..



Fuente: Carabias *et al.*, 2015- Resumen Ejecutivo (RSCBRUT).

Componente social-económico

El panorama social-económico se describe a continuación el estado en que se encuentra las principales actividades productivas:

- En cuanto a los sistemas productivos, derivados de la transformación de los sistemas naturales, la ganadería ocupa la mayor superficie de esta región. Se trata de una ganadería de bajo rendimiento, poco tecnificada y que impacta nocivamente a los recursos naturales por el uso de agroquímicos y las prácticas destinadas a eliminar la cobertura arbórea mediante el fuego (Carabias *et al.*, 2015:9).
- Lo mismo ocurre con la agricultura de monocultivos que, por ser de bajo rendimiento, busca suministrar recursos de autoconsumo que anualmente sufren mermas considerables (Carabias *et al.*, 2015:9).
- Los huertos familiares son una práctica tradicional entre las familias de la subregión de Los Ríos; su uso varía entre las distintas localidades, pero, en general, se observó que se han perdido muchas de las formas tradicionales de manejo. No se tiene estudio de la subregión del Delta (Jonuta y Centla) en cuanto a este sistema de producción (Carabias *et al.*, 2015:10).
- La actividad pesquera está presente en casi toda la región, con menor importancia en la unidad geomorfológica de lomeríos de montaña. Sin embargo, es una práctica artesanal poco rentable y destinada fundamentalmente al autoconsumo (Carabias *et al.*, 2015:10).

El acceso a los servicios de electricidad y agua potable por tuberías en la región no llega a toda la población. El 2.76% no tiene acceso

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

a electricidad, el 28.9% no cuenta con agua potable por tuberías y el 46%, usa leña como combustible.

Conjunción de panoramas

Se ha enunciado por un lado el panorama físico-ambiental y por el otro el social-económico, ahora se encamina a la conjunción de los resultados en un panorama global con enfoque sustentable, partiendo de la conservación y restauración de zonas que se han identificado para ello y que son la parte estructural del estudio.

En el proyecto, las áreas prioritarias para la conservación identificadas que garanticen la protección de la biodiversidad, resultado indispensable, son varias, sin embargo, las más significativas son las siguientes:

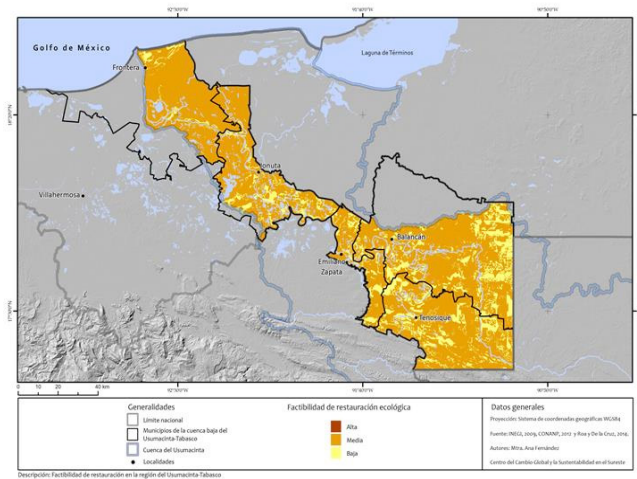
- Municipio de Balancán, en las inmediaciones del río San Pedro: es urgente activar medidas de conservación. Esto se sustenta en que las zonas circundantes del río aún mantienen grandes fragmentos de ecosistemas que debieran ser conservados. Estas zonas representan un enorme capital natural que podría ser visto como un corredor que avanza desde la frontera con Guatemala hasta las inmediaciones del poblado “El Capulín”.
- Municipio de Jonuta: posee mayor superficie de vegetación natural primaria con respecto al área de manejo de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Lo anterior indica que este municipio representa un terreno con posibilidades importantes para ser conservado. Es necesario considerar que los pastizales cultivados (ganadería) constituyen el único uso que está ejerciendo presión sobre la vegetación. Es necesario considerar a esta porción de territorio como una zona candidata para

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

la conservación ya que puede fortalecer la red de Áreas Naturales Protegidas (ANP) en la cuenca baja del Usumacinta. Lo anterior se sustenta en dos factores de gran relevancia: la presencia de una gran superficie con vegetación natural primaria y el hecho de que este sitio funge como zona de amortiguamiento para la ANP de Pantanos de Centla (Carabias *et al.*, 2015:12).

Respecto a las áreas seleccionadas con aptitud alta para iniciar restauración ecológica, cubren el 0.02% del territorio de la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco (aprox. 1.40 ha, Figura 3). La mayor parte de estas áreas están distribuidas en los municipios de Balancán y Tenosique y corresponden a zonas originarias de selvas o bosques riparios. Las áreas con la más alta aptitud para la restauración ecológica son aquellas con suelos de buena calidad a una distancia de remanentes boscosos y ANP no mayor a los 100m.

Figura 3. Zonas con Factibilidad de restauracion ecologica en la cuenca baja del Usumacinta en Tabasco.



Fuente: Carabias *et al.*, 2015- Resumen Ejecutivo (RSCBRUT).

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

Derivado de lo anterior se pueden identificar los factores de presión y amenaza de la región. En el cuadro 1 se listan los principales, donde el factor cambio climático es un elemento que puede intensificarlos:

Cuadro 1. Factores de presión o amenaza identificados en la región.

Factor de presión o amenaza	Descripción
Disminución de la Cobertura Natural	-Afecta toda la región y se relaciona con todas las áreas de acción que involucran al territorio. -Motivado por la falta de ingresos derivados de actividades productivas, y por las condiciones de pobreza de los habitantes.
Pérdida de Especies	-Causada por la introducción, intencional o accidental, de especies exóticas (no nativas) que desarrollan un comportamiento invasivo, desplazando a especies nativas y causando graves daños a los ecosistemas. -Identificación de varias especies de peces, 3 de lagartijas y una de ave.
Cambios en la Dinámica Hidrológica de la cuenca	-La manipulación del cauce ha contribuido en gran medida a provocar meandros y cauces abandonados, que intensifican los problemas de inundación.
Prevalencia de Prácticas Agropecuarias y Silvícolas Insustentables	-Los ecosistemas han sido históricamente forzados por sistemas productivos que proceden de políticas nacionales surgidas en contextos alternos.
Aumento en los Impactos de un Modelo de Desarrollo Urbano Insustentable	-Urbanización creciente sin planeación implica ocupación territorial de espacios cada vez más vulnerables.

Fuente: Carabias *et al.*, 2015- Resumen Ejecutivo (RSCBRUT).

Aportes para la mejora de la gestión territorial

Los instrumentos de gobierno para la mejora de la gestión territorial de manera sustentable son aquellos que permitan la conservación y/o restauración de la biodiversidad, ecosistemas y sus servicios, así como de los recursos naturales y energías renovables, entre ellos, destacan: 1) Ordenamiento Ecológico del Territorio (actualización en 2013), 2) Programas de las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

- 1) El Ordenamiento Ecológico del Territorio indica que el 70% del territorio de los municipios en la cuenca baja corresponde a un manejo ambiental con categoría de protección y/o restauración. Por lo que en este estudio se dan las bases para elaborar los ordenamientos municipales.
- 2) Las ANP otorgan el 30% del territorio de la región en categoría de protección, identificando la Reserva de la Biósfera de Pantanos de Centla cuenta con 302 707 ha, y el Área de Protección de Flora y Fauna Cañon del Usumacinta abarca 46 128 ha, mientras que la reserva estatal de Cascadas de Reforma comprende 5 748 ha.

Con los resultados obtenidos se pueden plantear propuestas de políticas públicas para la conservación de la biodiversidad, ecosistemas y sus servicios en la cuenca baja del Usumacinta. Las cuales son englobadas por 10 ejes:

1. Consolidar y articular los instrumentos para la gestión territorial sustentable y la adaptación al cambio climático.

Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

2. Fortalecer las capacidades para la gestión territorial sustentable.
3. Conservar la biodiversidad para proteger los sitios de biodiversidad más relevantes de la región.
4. Restaurar los ecosistemas y los servicios que proveen.
5. Identificar y promover acciones y políticas para el aprovechamiento sustentable.
6. Promover la reconversión productiva a través de acciones y proyectos que incluyan la modificación, diversificación o reemplazo de sistemas de producción que no son sustentables ambiental ni socialmente.
7. Promover la eficiencia energética y aprovechamiento de energías renovables para que las necesidades energéticas de los habitantes de la cuenca puedan ser abastecidas de manera sustentable.
8. Establecer elementos para que el desarrollo urbano sea sustentable y reduzca su impacto ambiental, al tiempo que mejore la calidad de vida de sus habitantes.
9. Definir salvaguardas ambientales para identificar y, en caso de ser necesario, prohibir el establecimiento de proyectos que constituyan una potencial amenaza para la sustentabilidad de la cuenca por los impactos permanentes que puedan tener en los ecosistemas y los servicios que proveen.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

10. Monitorear la sustentabilidad como una estrategia de seguimiento que permita vigilar y evaluar la sustentabilidad de la cuenca baja del Usumacinta (Carabias *et al.*, 2015:18).

Estas propuestas tienen la finalidad de llevar a cabo las medidas de sustentabilidad en la región, es necesario tener un rumbo que garantice una mejora en la calidad de vida de los pobladores mediante la reversión del deterioro ambiental y la conservación de la biodiversidad de la cuenca baja, contribuyendo así a establecer medidas adecuadas de adaptación al cambio climático. Por ello, es necesario continuar con la investigación in situ, además de comprometer e involucra a los actores clave (gobierno, sector privado y social, organizaciones y comunidad científica). Por otro lado, es sabido que la comunicación y educación ambiental de estos sectores contribuirá a tener resultados en un corto plazo.

En este contexto, se enuncia la relevancia de las acciones clave (ver figura 4) que los actores involucrados, detectados en esta investigación, requieren ejecutar para establecer una adecuada sustentabilidad en la región:

- El Gobierno de Tabasco puede encaminarse a impulsar un desarrollo regional distinto, cuyas acciones garanticen la armonización de recursos y programas en la región y así permitir el diseño de estrategias nuevas y más sustentables de desarrollo en las otras cuencas en el Estado (Carabias *et al.*, 2015).
- Los municipios son significativos en la implementación de las acciones, es por ello que deben concebirse como agentes articuladores del cambio ya que tienen atribuciones importantes para la sustentabilidad regional (Carabias *et al.*, 2015). Es conveniente que su

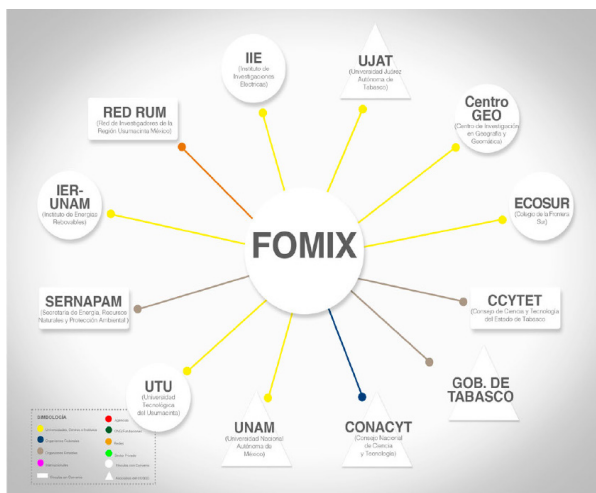
Retos para la sustentabilidad en la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social

compromiso, para la gestión sustentable, desde la visión territorial, se encamine en el siguiente sentido:

- a) En el caso de los municipios de Jonuta y Centla se requiere expandir la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla y promover programas para el uso sustentable de los recursos naturales de las personas que habitan estas áreas, regulando al mismo tiempo las acciones petroleras en la costa. Además de invertir en acciones de restauración. Se propone, como opción para diversificar el ingreso de sus comunidades, que el turismo ecológico sea una las actividades de estos municipios (Carabias *et al.*, 2015).
 - b) En la región de los Ríos, es vital que la participación de sus pobladores y productores se orienten a actividades de conservación de la naturaleza y que, además, impulsen la reconversión productiva hacia alternativas silvopastoriles, agroforestales y de plantaciones forestales en los sitios donde actualmente hay pastizales muy deteriorados (Carabias *et al.*, 2015).
- En el caso de la población en general, se debe continuar trabajando en un entendimiento de la importancia de la biodiversidad, de los servicios que provee, de la necesidad de incorporar mejores maneras de producción y consumo, y de la disposición de los desechos para garantizar que la sustentabilidad es viable. Por ello, se debe comunicar que la sustentabilidad es por y para las personas (Carabias *et al.*, 2015).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 4. Vinculación Interinstitucional del Proyecto TAB-2012-C28-194316.



Fuente: Carabias *et al.*, 2015- Resumen Ejecutivo (RSCBRUT).

Conclusiones

El estudio alcanzó logros, como son los trabajos directos con la población local y que resultan en proyectos viables tanto por la existencia de recursos naturales, como por el conocimiento tecnológico para implementarlos y el interés de la población de ejecutarlos y adoptarlos. Algunos de ellos, de hecho, están en proceso de implementación (CCGSS, 2015b).

Los resultados se enfocaron en las áreas prioritarias para iniciar un cambio sustantivo en la conservación de la región y las principales amenazas que se pueden identificar actualmente (CCGSS 2015b); para comenzar a orientar un cambio se cierra con una propuesta de 10 ejes de políticas públicas para la conservación de la biodiversidad, ecosistemas y sus servicios en la cuenca baja del Usumacinta. Se hizo un llamado a la inclusión de la participación

de la sociedad en su conjunto, es decir la población en general y demás actores clave, de gobierno e iniciativa privada, con la finalidad de alcanzar un desarrollo sustentable.

Bibliografía

- Asner, G.P., Knapp, D.E., Balaji, A. y G. Páez-Acosta. (2009). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing* 3(1): 033543-033543.
- Carabias, J., Zorrilla, M., Escobedo, A. H., Gallardo, A., Rodríguez, Y., Fernández, A. I., Charruau, P., Martínez, M., Rodríguez, A. (2015). *Diagnóstico integral de la cuenca baja del Río Usumacinta en Tabasco. Informe Técnico*. Proyecto TAB-2012-C28-194316. “Retos para la sustentabilidad en la Cuenca Baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social” (RSCBRUT). RESUMEN EJECUTIVO. CCGSS-CONACYT.
- Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, CCGSS (2015a). *Agenda de Investigación*, Proyecto TAB-2012-C28-194316. “Retos para la sustentabilidad en la Cuenca Baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social” (RSCBRUT).
- Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, CCGSS (2015b). *Diagnóstico integral 3 documento final*. Proyecto TAB-2012-C28-194316. “Retos para la sustentabilidad en la Cuenca Baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social” (RSCBRUT).
- Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, CCGSS (2015c). *Modelación del sistema natural*. Proyecto TAB-2012-C28-194316. “Retos para la sustentabilidad en la Cuenca Baja del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social” (RSCBRUT).

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Hutchinson, M.F. (2006). Anusplin Version 4.36 User Guide. Canberra, Centre for Resource and Environmental Studies. Australia.
- UICN (2012). IUCN red list of threatened species. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Disponible en línea: www.iucnredlist.org. Acceso en 2014 y 2017.
- USDA (U.S. Department of Agriculture) (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Conservation Engineering Division. Technical Release 55. Second Edition. USA. 164 pp.
- Vázquez-Aguirre, J. L. (2006). *Datos climáticos de la República Mexicana: panorama actual y requerimientos inmediatos*. Memorias del primer Foro del Medio Ambiente Atmosférico en el estado de Veracruz. México. 14p.
- Vidal, R. (2005). Las regiones climáticas de México. Temas Selectos de Geografía de México (I. 2.2), Instituto de Geografía, UNAM, México.





Ganadería, cuenca del
Usumacinta



Fotografía
Antonino García García

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta, y su impacto en las actividades agropecuarias

*Benigno Rivera-Hernández,
Lorenzo Armando Aceves Navarro,
Agrícola Arrieta Rivera,
José Francisco Juárez López
y Antonio López Castañeda*

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis de los diferentes escenarios de cambio climático para México desarrollados por el Instituto Nacional de Ecología, mediante el ensamble de 23 modelos de circulación general de la atmósfera y océano acoplados para las climatologías de 2020, 2050 y 2080, en particular sobre los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta, del río Usumacinta. Estos municipios son: Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta y Centla. Para ello, se analizaron 24 mapas que muestran las anomalías e incertidumbres de la temperatura y la precipitación para las climatologías anteriores. Derivado de los resultados, se señalan los posibles efectos que tendrían dichas anomalías sobre las actividades agropecuarias en los municipios del Tabasco que integran la cuenca baja del río Usumacinta.

Palabras clave: anomalías climáticas, cambio climático, temperatura, precipitación.

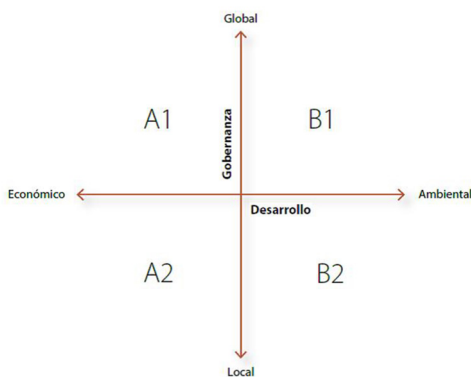
*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Introducción

Entendiendo los escenarios

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) desarrolló, originalmente entre 1990 y 2003, una serie de escenarios de emisiones, los cuales han sido ampliamente aplicados para la construcción de modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCG) para evaluar los impactos posibles del cambio climático. La base conceptual de la que parten los Reportes Especiales de Escenarios de Emisión (SRES) representa el futuro del mundo en dos dimensiones: un mundo enfocado en un desarrollo ambiental o económico, y un mundo con patrones de crecimiento global o regional, tal y como se muestra en la figura 1 (IPCC, 2003).

Figura 1. Familias de escenarios de emisión y su relación con el desarrollo y gobernanza.



Fuente: IPCC, 2003.

Las cuatro familias de escenarios divergen cualitativa y cuantitativamente. Las dos familias “A”, por ejemplo, sitúan un alto crecimiento económico, mientras que las dos familias “B”

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

exploran las consecuencias de un crecimiento económico más bajo. Las familias “A1” y “B1” están orientadas hacia la convergencia global, mientras que las familias “A2” y “B2” se enfocan en las estructuras regionales. Así por ejemplo, el escenario B1 plantea un mundo globalizado con énfasis en la sustentabilidad y equidad globalizada extensiva. En cambio, el escenario A2 se caracteriza por un mundo heterogéneo dominado por el mercado, con un mayor crecimiento de población de los demás escenarios, pero con menor desarrollo económico.

Es importante señalar que todos los escenarios exploran diversas estructuras posibles de los sistemas de energía futuros y que todos ellos son igualmente posibles. El IPCC (2003) reporta las proyecciones globales del calentamiento global para el año 2100, bajo diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mismas que se muestran en la figura 2. Para el año 2014, el IPCC renombró los escenarios, sustituyendo los “A” y “B” por las tendencias representativas de concentración (RCP). Estas RCP se utilizan para hacer proyecciones y describen las diferentes tendencias de las emisiones de GEI para el siglo XXI. Los RCP incluyen un escenario de mitigación riguroso (RCP2.6), dos escenarios intermedios (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con muy elevadas emisiones de GEI (RCP8.5). En la figura 3 se puede apreciar que el escenario RCP2.6 es más favorable y el RCP8.5 es el peor escenario posible (IPCC, 2014). Estos escenarios contrastantes se escogieron para realizar el análisis del presente estudio.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 2. Evolución del calentamiento global para el año 2100, bajo diferentes escenarios de emisiones.

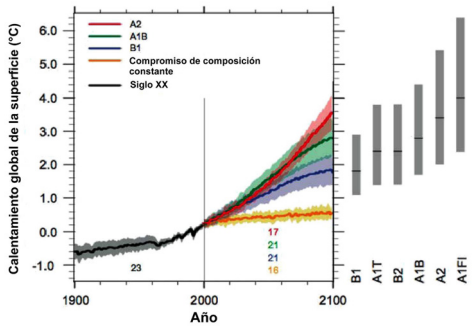
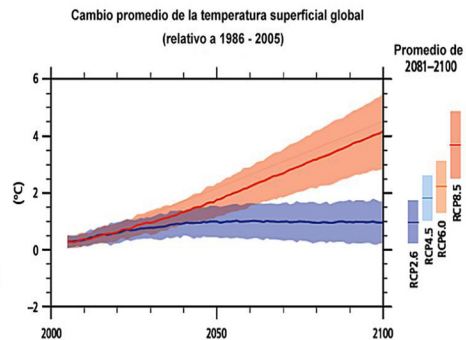


Figura 3. Evolución del calentamiento global para el año 2100, bajo diferentes escenarios de emisiones.



Fuente figuras 2 y 3: IPCC, 2003 e IPCC, 2014.

Desarrollo de escenarios regionales

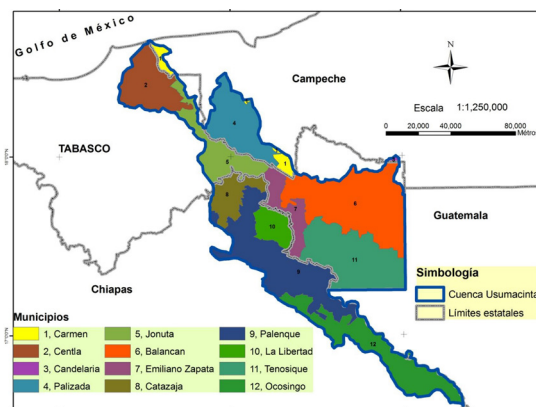
El Instituto Nacional de Ecología (INE), hoy Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, al analizar las consecuencias que el calentamiento global pudiera causar a escalas local y regional, se dio a la tarea de generar escenarios de cambio climático en el ámbito regional para diferentes escenarios y horizontes de tiempo, generando mapas de la república mexicana de las anomalías para temperatura y precipitación para los horizontes 2020, 2050 y 2080 (Magaña-Rueda, 2009) y (Conde y Gay, 2008). Con la finalidad de realizar lo anterior, utilizaron 23 modelos ensamblados de circulación general de la atmósfera y océano acoplados (AOGCM), que toman en consideración los factores forzantes que determinan los posibles escenarios futuros económicos y medioambientales. Los factores forzantes son: población, economía, tecnología, energía, uso del suelo y agricultura.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

La cuenca del río Usumacinta

El análisis de la cuenca del río Usumacinta se realiza de acuerdo con la delimitación de cuenca establecida por la Comisión Nacional del Agua y que, según García y Kauffer (2009), tiene su origen en la hoy extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos. La cuenca del río Usumacinta se integra por cinco subcuencas que, parcialmente, se localizan en México y en Guatemala. En México, la subcuenca Usumacinta se integra por nueve municipios de los estados de Chiapas, Tabasco y Campeche. Los municipios de Tabasco que integran la subcuenca del río Usumacinta son: Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta y Centla; los municipios del estado de Chiapas que integran esta subcuenca son: Palenque, Catazajá y La Libertad, y el municipio de Campeche que integra esta subcuenca es Palizada (figura 4). En el presente estudio se denominará “cuenca baja del río Usumacinta” a los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta.

Figura 4. Municipios de Chiapas, Tabasco y Campeche que integran la subcuenca Usumacinta, de la cuenca del río Usumacinta.



Fuente: ERMEX-SPOT, 2013.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Escenarios y mapas seleccionados

En el presente estudio se analizaron sólo dos escenarios: el A1 y el B1 que, de acuerdo con el IPCC (2014), ahora se les denomina (RCP2.6 y RCP8.5). Se analizaron las anomalías e incertidumbres esperadas en la temperatura y la precipitación en la cuenca baja del río Usumacinta. Esto permitió efectuar el diagnóstico de los posibles efectos sobre el sector agropecuario en dicha cuenca para los escenarios seleccionados y para las climatologías 2020, 2050 y 2080. Para ello, se contó con 12 mapas de las anomalías e incertidumbres de la temperatura para México, dado en grados centígrados (seis por cada escenario, que incluyen dos por cada periodo). De igual manera, se contó con 12 mapas de las anomalías e incertidumbres de la precipitación para México, dado en porcentaje (seis por cada escenario, que incluyen dos por cada periodo).

Escenarios de temperatura, sus anomalías e incertidumbres

Escenario RCP2.6 (B1)

Como se aprecia en la figura 5, la anomalía promedio esperada en la temperatura para este escenario RCP2.6 (B1) en la mayoría de la cuenca baja del río Usumacinta es de 0.6 °C, a principios de siglo (2020). Asimismo, se puede observar en esa misma figura 5 que, para la zona suroriental de la cuenca (partes de Balancán y Tenosique), las anomalías esperadas son menores, con un valor promedio de 0.4 °C.

En los mapas de las figuras 6, 8 y 10, correspondientes a la incertidumbre esperada en la temperatura y asociada al escenario RCP2.6, ésta fluctúa entre ± 0.25 a ± 0.50 °C, y es la misma

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Figura 5. Anomalía esperada en la temperatura para el escenario RCP2.6 (B1) para el clima del año 2020.

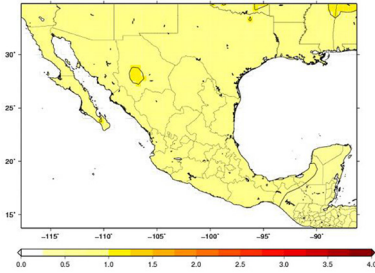


Figura 6. Incertidumbre esperada en la temperatura para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2020.

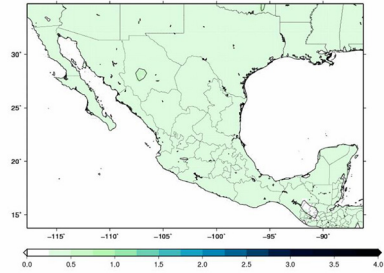


Figura 7. Anomalía esperada en la temperatura para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2050..

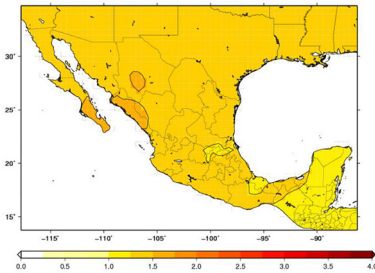


Figura 8. Incertidumbre esperada en la temperatura para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2050.

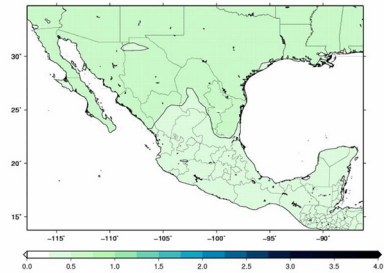


Figura 9. Anomalía esperada en la temperatura para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2080.

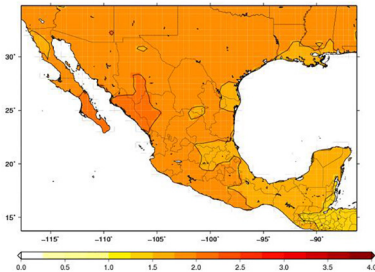
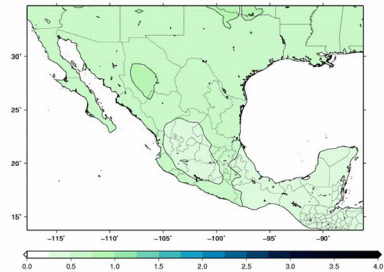


Figura 10. Incertidumbre esperada en la temperatura para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2080.



Fuente de las figuras 5 a 10: Conde A.C. & Gay, G.C., 2008 y Magaña-Rueda, V.O., 2009.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

para toda la cuenca baja del río Usumacinta en los tres periodos seleccionados (2020, 2050 y 2080). Debe resaltarse que aun cuando se consideran las incertidumbres asociadas a las anomalías en las temperaturas, éstas no modifican el valor promedio de las últimas.

En el mapa de la figura 7, para la climatología 2050 a mediados de siglo, se puede apreciar que la región suroriental de la cuenca Usumacinta presenta valores promedio de 1.2 °C en la anomalía en la temperatura, y el resto de la cuenca presenta una anomalía superior de 1.4 °C. Al analizar los mapas de las figuras 5 a la 8, se hace notorio que la parte suroriental de la cuenca baja del río Usumacinta se esperan incrementos más bajos en la temperatura para principios y mediados de siglo, que en el resto de la cuenca. En el mapa de la figura 9 se muestra que la anomalía esperada de la temperatura para toda la cuenca baja del río Usumacinta tiene un mismo valor de 1.7 °C, en promedio. Es decir, que bajo este escenario y a finales de siglo se esperaría un incremento promedio de 1.7 °C en la temperatura promedio diaria anual. Los valores promedio de las anomalías, ya considerando la incertidumbre para este escenario RCP2.6, se muestran en el cuadro 1.

Escenario RCP8.5 (A2)

Como se aprecia en la figura 11, la anomalía esperada en este escenario (RCP8.5) para la mayoría de la cuenca baja del río Usumacinta va de 0.75 a 1.0 °C, con un promedio de 0.9 °C a principios de siglo (2020). Asimismo, se puede observar que en una pequeña zona suroriental de la región de Los Ríos (partes de Balancán y Tenosique) las anomalías son menores al resto del estado y varían, en promedio, en 0.6 °C. Para mediados y finales de siglo, los valores de las anomalías se generalizaron para todo

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Figura 11. Anomalía esperada en la temperatura para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2020.

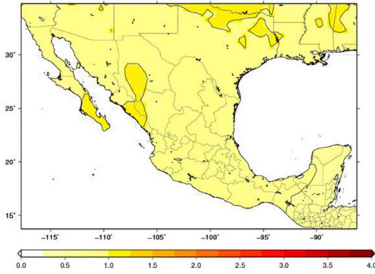


Figura 12. Incertidumbre esperada en la temperatura para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2020.

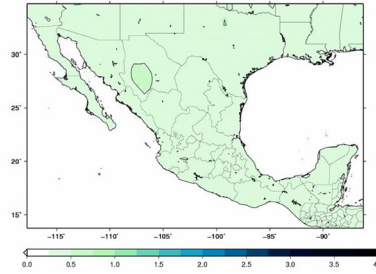


Figura 13. Anomalía esperada en la temperatura para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2050.

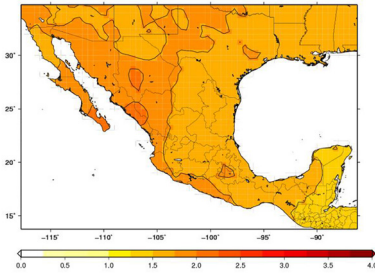


Figura 14. Incertidumbre esperada en la temperatura para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2050.

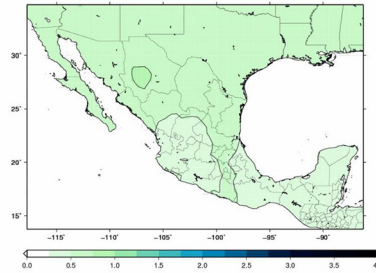


Figura 15. Anomalía esperada en la temperatura para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2080.

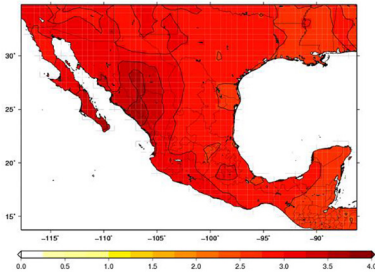
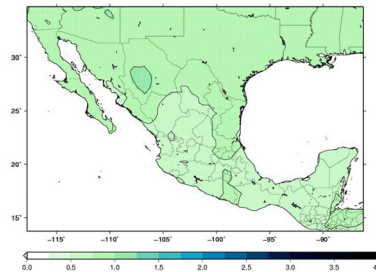


Figura 16. Incertidumbre esperada en la temperatura para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2080.



Fuente de las figuras 11 a 16: Conde A.C. & Gay, G.C., 2008 y Magaña-Rueda, V.O., 2009.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

el estado. Así, para mediados y finales de siglo las anomalías promedio esperadas son de 1.6 y 2.6 °C, respectivamente, tal y como se observa en las figuras 13 y 15.

Al comparar los mapas de las figuras 11, 13 y 15, se puede apreciar que las anomalías se incrementaron al paso del tiempo, pasando de variaciones de entre 0.25 a 1.0 °C, a principios de siglo, a valores de 1.5 a 1.75 °C para mediados de siglo, y de 2.50 a 2.75 °C a finales de siglo. En los mapas de las figuras 12 y 14, correspondientes a la incertidumbre esperada en la temperatura a inicios y mediados de siglo y asociada al escenario RCP8.5, se muestra que ésta fluctúa para toda la cuenca baja del río Usumacinta a inicios y mediados de siglo entre ± 0.25 y ± 0.50 °C (2020 y 2050). Para la climatología de fines de siglo (2080), la figura 16 muestra que la incertidumbre crece en toda la cuenca baja del Usumacinta, con fluctuaciones entre ± 0.5 y ± 0.75 °C. Debe resaltarse que aun cuando se consideran las incertidumbres asociadas a las anomalías en las temperaturas, éstas no modifican el valor promedio de las últimas. Los valores promedio de las anomalías, ya considerando la incertidumbre para este escenario RCP8.5, se muestran en el cuadro 1.

Conclusiones sobre los escenarios de temperatura

Al observar y comparar las figuras de la 5 a la 16, se puede apreciar que el escenario RCP2.6 (B1) fue el más optimista y el RCP8.5 (A2) fue el más pesimista. Asimismo, al analizar las figuras antes señaladas, se pudo notar una clara tendencia al incremento en la temperatura promedio diaria anual en la cuenca baja del río Usumacinta, a medida que se aproxima al fin del siglo. Y esto es válido para todos los escenarios seleccionados.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

La única diferencia entre escenarios son los valores de las anomalías. El escenario más optimista RCP2.6 (B1), al 2020, muestra una anomalía promedio de 0.4 °C, para llegar al fin de siglo (2080) con una anomalía de 1.7 °C. En ambos escenarios (RCP2.6 y RCP8.5), se presentan dos áreas con anomalías diferenciadas. Una en la zona oriental de la cuenca baja del río Usumacinta, que presenta anomalías menores y, otra, que es el resto de la cuenca, con valores mayores en las anomalías. Esta diferenciación ocurre a principios de siglo en el escenario RCP8.5 (A2) y hasta la mitad del siglo en el RCP2.6 (B1). Para finales del siglo (2080) desaparece, ocurriendo un mismo valor de las anomalías para toda la cuenca, variando sólo en el valor para los diferentes escenarios, tal y como se muestra en el cuadro 1. En el mismo cuadro 1 se resumen los valores promedio de las anomalías, considerando sus incertidumbres. Es importante volver a señalar que, si bien todos los escenarios son posibles, se pueden esperar, a finales de siglo, incrementos en la temperatura promedio diaria anual de entre 1.7 y 2.6 °C para el escenario más optimista RCP2.6 (B1) y para el más pesimista RCP8.5 (A2), respectivamente.

Cuadro 1. Cambio promedio en los valores de las anomalías de la temperatura media anual (°C) para diferentes horizontes de tiempo.

Escenario	Zona	Climatología		
		2020	2050	2080
RCP2.6 (B1)	Suroriental	0.4 °C	1.2 °C	1.7 °C
	Resto de la cuenca	0.6 °C	1.4 °C	No aplica
RCP8.5 (A2)	Suroriental	0.6 °C	No aplica	No aplica
	Resto de la cuenca	0.9 °C	1.6 °C	2.6 °C

Fuente: Conde, A.C. & Gay, G. C., 2008 y Magaña-Rueda V. O., 2009.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Escenarios de precipitación, sus anomalías e incertidumbres

Escenario RCP2.6 (B1)

Como se aprecia en las figuras 17, 19 y 21, la anomalía esperada en este escenario RCP2.6 (B1) y para toda la cuenca baja del río Usumacinta va de -5% a + 5%, con un promedio de 0% para las tres climatologías (2020, 2050 y 2080). Es decir, que no se esperarían cambios en la precipitación total anual ni a principios ni a mediados ni tampoco a finales del presente siglo, en la cuenca. O sea, no se esperan cambios certeros sobre la tendencia de la anomalía. En los mapas de las figuras 18, 19 y 20, correspondientes a la incertidumbre asociada a dicho escenario, ésta fluctuó para toda la cuenca baja del río Usumacinta entre $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$ para todos las climatologías seleccionadas (2020, 2050 y 2080). Al promediar estas incertidumbres con las anomalías esperadas, los resultados muestran que no se esperan cambios en la cantidad de precipitación total anual en ninguna de las climatologías seleccionadas.

Escenario RCP8.5 (A2)

Las figuras 23, 25 y 27 muestran que la anomalía esperada en este escenario RCP8.5 (A2) para las tres climatologías seleccionadas es del 0 %, de manera similar a lo reportado para el escenario RCP2.6. Esto significa que, de principio a fin del presente siglo, prácticamente en toda la cuenca baja del río Usumacinta en Tabasco no se esperan cambios en la precipitación total anual.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Figura 17. Anomalía esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2020.

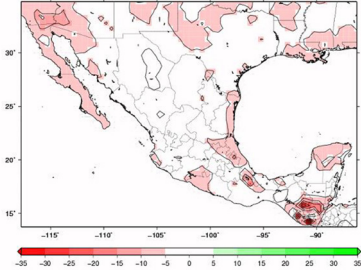


Figura 19. Anomalía esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2050.

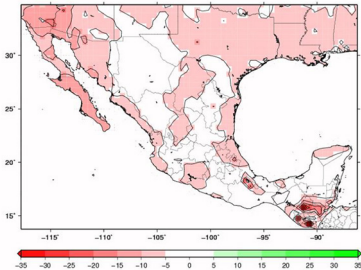


Figura 21. Anomalía esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2080.

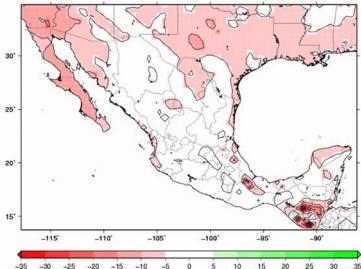


Figura 18. Incertidumbre esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2020.

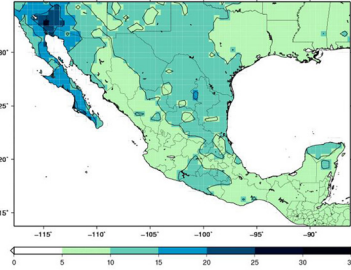


Figura 20. Incertidumbre esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima.

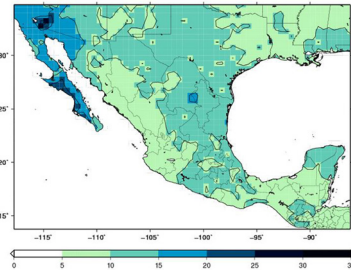
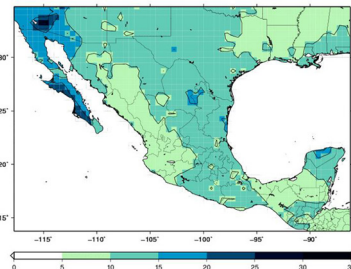


Figura 22. Incertidumbre esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP2.6 (B1), para el clima del año 2080.



Fuente de las figuras 17 a 22: Conde A.C. & Gay, G.C., 2008 y Magaña-Rueda, V.O., 2009.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Figura 23. Anomalía esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2020.

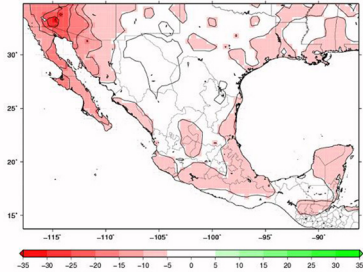


Figura 25. Anomalía esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2050.

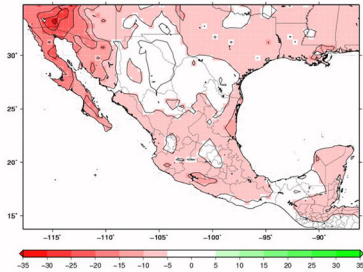


Figura 27. Anomalía esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2080.

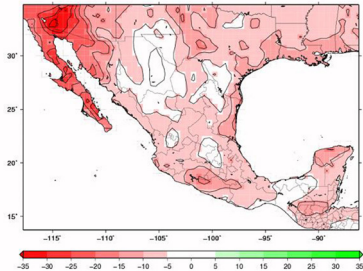


Figura 24. Incertidumbre esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2020.

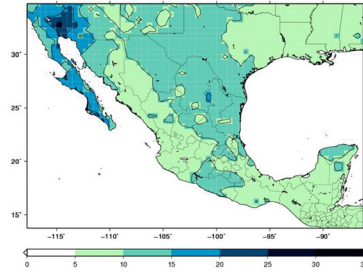


Figura 26. Incertidumbre esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2050.

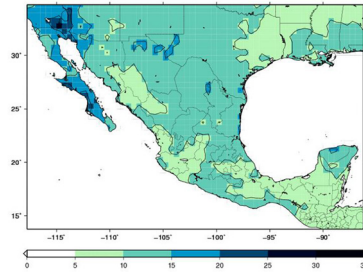
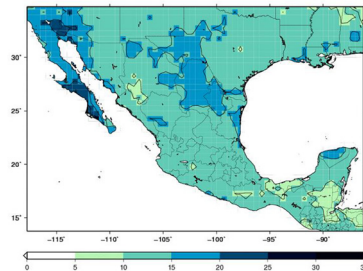


Figura 28. Incertidumbre esperada (%) en la precipitación para el escenario RCP8.5 (A2), para el clima del año 2080.



Fuente de las figuras 23 a 28: Conde A.C. & Gay, G.C., 2008 y Magaña-Rueda, V.O., 2009.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Conclusiones sobre los escenarios de precipitación

Como se muestra en los mapas de las figuras 17, 19 y 21, para el escenario RCP2.6 (B1), en toda la cuenca baja del río Usumacinta y todas las climatologías (2020, 2050 y 2080), la precipitación total anual no muestra tendencia de cambio. Lo mismo ocurre para el escenario RCP8.5 (A2) (figuras 23, 25 y 27). Es decir, que para el 2020, 2050 y 2080 la precipitación total anual en la cuenca baja del río Usumacinta no se verá afectada por ninguno de los escenarios propuestos (figuras 23, 25 y 27).

Impactos esperados en las actividades agropecuarias, debido a los cambios esperados en la precipitación bajo los escenarios seleccionados

Tabasco es el estado del país donde, en promedio, más llueve. Tiene lluvias totales anuales que van desde 1 850 mm, en la costa (norte), a más de 4 000 mm en la sierra (sur). En este estado escurre, en promedio, un tercio de toda el agua dulce de México, que es cantidad suficiente como para regar una superficie casi dos veces a la que actualmente se riega en México.

En Tabasco existe agua en abundancia y lluvia en exceso. La nula modificación en la cantidad de precipitación a futuro parece indicar que no habrá repercusiones significativas, debido al cambio climático, en las actividades agropecuarias en la región de la cuenca baja del río Usumacinta, aunque el conocimiento empírico de la población dice otras cosas. Así, por ejemplo, García *et al.*, (2015) reportan que las comunidades indígenas del municipio de Nacajuca perciben aumentos de temperatura, de plagas en los cultivos y de enfermedades respiratorias y gastrointestinales, entre otras, como consecuencia del cambio climático.

Impactos esperados en las actividades agropecuarias, debido a los cambios esperados en la temperatura bajo los escenarios seleccionados

Los datos presentados en el cuadro 1 muestran que las temperaturas pueden elevarse entre 1.2 °C y hasta 2.6 °C para mediados y finales de siglo, respectivamente, considerando ambos escenarios. Las posibilidades de ese incremento en la temperatura promedio diaria tendrá diferentes impactos diferenciados y de aumento en el crecimiento y desarrollo de cultivos, plagas y en el desempeño de los animales de granja. Todo lo anterior lleva tener, en general, ciclos de vida más cortos en los cultivos y, por añadidura, menores rendimientos, así como mayor número de ciclos de vida de los insectos plaga y una menor adaptación, producción y productividad en los animales de granja. La intensidad de estos efectos sobre la producción de agroalimentos es proporcional al incremento en la temperatura.

Proyección de los escenarios seleccionados sobre el sector agrícola

Los sistemas productivos más importantes del estado de Tabasco, por superficie ocupada, son: ganadería, maíz, cacao, caña de azúcar y plátano. En los sistemas agrícolas, el maíz fue el cultivo con mayor superficie cosechada (> 70 000 ha). La caña de azúcar obtuvo el mayor volumen de producción (> 200 000 t), mientras que el plátano resultó ser el cultivo con mayor valor de producción, superando los 2 000 000 000 de pesos (SIAP, 2014). De ocurrir un calentamiento regional, tal y como lo muestran los escenarios desarrollados para México, es importante señalar que los sistemas productivos agrícolas en la cuenca baja del río Usumacinta, y en general en el estado de Tabasco, se verían afectados negativamente en su productividad, al mismo tiempo que su superficie productiva disminuiría.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Otro de los efectos del cambio climático sería la modificación en la distribución de las plagas y las enfermedades de animales y plantas. Para el escenario más favorable (RCP2.6) se proyecta, para mediados de siglo, una anomalía promedio de 1.4 °C, mientras que para finales de siglo esa anomalía es de 1.7 °C. En cambio, para el peor escenario (RCP8.5) se proyectan incrementos de 1.6 °C a 2.6 °C para las climatologías de 2050 y 2080, respectivamente. De esta manera, si todos los escenarios son posibles, se esperaría un incremento en la temperatura promedio diaria de entre 1.7 y 2.6 °C a finales de siglo. Ello significa que la cuenca baja del río Usumacinta se calentará casi un 53% más a finales de siglo que a mitad del siglo XXI. Los efectos sobre las actividades agropecuarias se irán incrementando proporcionalmente conforme se incremente la temperatura.

En todos los organismos poikilotérmicos¹ (plantas e insectos), a medida que se incrementa la temperatura del aire, se incrementa su tasa de desarrollo y, por ende, se acorta su ciclo de vida. Esta disminución en el ciclo de vida es proporcional al incremento en la temperatura (Campbell y Norman, 1998). Así, por ejemplo, bajo el peor escenario (RCP8.5), un cultivo de maíz que hoy tarda 120 días en madurar ($1\ 450^{\circ}\text{GDD}_{10}$), a mediados de siglo sólo tardará, en promedio, 104 días y, a finales del mismo, únicamente tardará 94 días (Neild, 1981). Así, su ciclo de vida se verá reducido en un 16 y un 26 %, respectivamente.

Es decir, su ciclo de vida se reduce entre 16 y 26 días, con la consecuente disminución proporcional en los rendimientos al tener el cultivo menos tiempo de vida. A menor duración en el ciclo de vida, menor tiempo disponible para fotosintetizar y producir biomasa, teniendo como consecuencia menores rendimientos

1 Organismos que necesitan el aporte térmico del medio para regular su temperatura.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

(Nájera y Arteaga, 2000). A su vez, la tasa o velocidad con que se consume la biomasa durante el proceso de respiración, se incrementa exponencialmente con la temperatura. De manera tal que, a mayor temperatura, mayor consumo de biomasa y, por tanto, menor acumulación de biomasa neta y menores rendimientos (Campbell y Norman, 1998).

La elevación de la temperatura también afecta la demanda de agua por los cultivos (evapotranspiración). A mayor temperatura, mayor demanda de agua. Por otro lado, un incremento en la temperatura pudiera traer efectos benéficos, ya que es bien conocido que a mayor consumo de agua, mayor es la producción de biomasa y, por ende, se esperaría mayor rendimiento (Campbell y Norman, 1998). Asimismo, incrementos significativos del CO₂ de la atmósfera implica mayores tasas fotosintéticas en plantas C₃², que se vuelven fotosintéticamente más eficientes y más eficientes en producir biomasa. Es importante resaltar que la mayoría de los cultivos son plantas C₃. Lo señalado anteriormente es válido siempre y cuando no haya deficiencia en el abastecimiento de humedad del suelo.

Otro impacto que tendrían los incrementos de temperatura sería sobre la sensibilidad de los cultivos en determinadas etapas de su ciclo de vida, a temperaturas por encima de un cierto valor. Así, por ejemplo, días con temperaturas mayores a 35 °C que ocurran durante la etapa reproductiva del maíz, reducen los rendimientos en 63.5 kg ha⁻¹ día⁻¹ (Neild, 1980). Como los incrementos en la temperatura media implican incrementos en las temperaturas máximas y/o mínimas diarias, conforme se incrementen estos hasta llegar a ciertos valores críticos, afectarán los rendimientos de los cultivos. En Tabasco se obtienen tres cosechas de maíz de

2 Plantas que no tienen adaptaciones fotosintéticas para reducir la fotorrespiración.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

temporal, en tres diferentes ciclos de cultivo (primavera-verano, otoño-invierno y el marceño). Bajo el peor escenario (RCP8.5), el ciclo otoño-invierno y el marceño tenderán a desaparecer, principalmente por las elevadas tasas de desarrollo del maíz, así como por las altas temperaturas que normalmente ocurren antes del periodo de lluvias y que afectarán la floración, bajo este escenario.

En Tabasco, la temperatura alcanza su máximo en el mes de mayo, de allí que ciclo primavera-verano que inicia en junio tenga más posibilidades de persistir en el tiempo como cultivo de autoconsumo. Bajo el escenario más favorable (RCP2.6), todavía se pueden realizar adaptaciones para que la producción de granos se vea menos impactada. Una alternativa de adaptación a este escenario es utilizar híbridos y/o variedades de ciclo más largo o más tolerantes a altas temperaturas, o efectuar una reconversión a cultivos más tolerantes al calor, como son las cucurbitáceas (sandía, melón, pepino, calabaza), las solanáceas (chile, jitomate) y la caña de azúcar, cultivos que tienen mayor plasticidad para adaptarse a las altas temperaturas.

Sin embargo, es importante señalar que la investigación local y la experiencia de los campesinos deben conjuntarse para buscar salidas técnico-científicas, así como involucrar la parte social en la transferencia y rescate del conocimiento local. De todo lo anterior, se desprende que los impactos esperados no son tan lineales, pues ocurren procesos complejos y en contrasentido. Pero, en términos generales, aun cuando la eficiencia fotosintética sea mayor, los ciclos de vida y las tasas de respiración serán los procesos dominantes, desencadenado una baja en la producción de alimentos de origen vegetal del orden del 8 al 17 %, si no se llevan a cabo medidas de adaptación.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Dado que los insectos plaga también son organismos poikilotérmicos, sus ciclos de vida, ya de por sí cortos, serán aún más cortos. Esto traerá como consecuencia que coexistan varias generaciones del mismo insecto a lo largo del año y se intensifique el ataque de los mismos sobre los cultivos, con las pérdidas de rendimientos correspondientes. Todo lo anterior apunta a tener menor producción de agroalimentos en la cuenca baja del río Usumacinta. Incrementos de más de 2.0 °C a finales de siglo va a hacer muy difícil implementar las medidas de adaptación que, para mediados de siglo, eran viables. Así, será necesario un mayor desarrollo de la biotecnología y el mejoramiento genético. Para ello, se requiere una política de Estado que se incentive la producción de semillas en el plano regional, adaptadas a las condiciones particulares de suelo, precipitación y temperatura. De igual forma, un mayor apoyo a las instituciones de investigación e instituciones formadoras de recursos científicos.

Se vislumbra que las actividades agrícolas, tal y como están hoy en día, se verán afectadas y tendrá que irse adecuando las modificaciones adaptativas para su continuación. En resumen, los principales efectos de la elevación en las temperaturas promedio diarias afectarían los siguientes procesos:

- Incremento en la tasa de desarrollo de los organismos poikilotérmicos (plantas e insectos).
- Reducción del ciclo de vida de los cultivos anuales.
- Incremento en la tasa de respiración de las plantas.
- Incrementos en la demanda evapotranspirativa de los cultivos.
- Mayores problemas en la polinización.
- Mayores problemas de abortamiento de flores por calor excesivo en la etapa reproductiva.
- Incremento en las generaciones de insectos plaga.
- Disminución de los rendimientos en cultivos anuales.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Proyección de los escenarios seleccionados en el sector ganadero

En el caso de la ganadería, baste recordar que la mayor superficie de Tabasco se dedica a la ganadería bovina. La ganadería bovina ocupa el 67.5% de la superficie del estado y genera el mayor ingreso económico (SIAP, 2014).

En Tabasco se utilizan, principalmente, cuatro sistemas de producción de bovinos:

- El de cría vaca-becerro (V-B), el más extensivo.
- El de engorda (E) de los becerros, que produce el sistema anterior.
- El de doble propósito (DP), producción de leche y becerro de destete.
- La cría de sementales (CS), actividad muy especializada.

Para entender cómo los escenarios descritos (RCP2.6 y RCP8.5) afectarían las actividades ganaderas, es importante resaltar lo que se sabe sobre la respuesta del ganado bovino a incrementos a la temperatura dada su condición de organismo homeotérmico³. El estrés por calor provoca en el ganado bovino los siguientes efectos (Hahn *et al.*, 1999):

- Reducción en el consumo de alimento.
- Reducción en la absorción de nutrimentos.
- Reducción en la producción de leche.
- Disminución en la actividad animal.
- Incremento en la tasa de respiración y sudoración.
- Disminución de la masa corporal.
- Baja de defensas del organismo.
- Disminución en la tasa de apareamiento.

3 Organismos capaces de mantener constante su temperatura, a partir de su propia energía metabólica.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Todo lo anterior indica que, de elevarse la temperatura promedio diaria, se elevarían los valores en los índices de confort para el ganado bovino y con ello se incrementaría la carga calórica, con la consecuente menor capacidad de disipación energética. Esto implica una disminución significativa en su adaptación y productividad, impactando de manera negativa en la producción de carne y leche. Para evaluar el efecto del estrés térmico en el ganado bovino, se han desarrollado índices de confort que relacionan los efectos de dicho estrés térmico con los efectos señalados anteriormente.

El índice de temperatura-humedad (THI, por sus siglas en inglés) es un índice de confort de amplio uso en el mundo, que cumple con el objetivo de relacionar los efectos del estrés térmico con el desempeño del animal y la producción de carne y leche del ganado bovino (Hahn *et al.*, 2009). Se han elaborado tablas útiles para el manejo del ganado bajo diferentes combinaciones de temperatura y humedad, que se muestran en la figura 29.

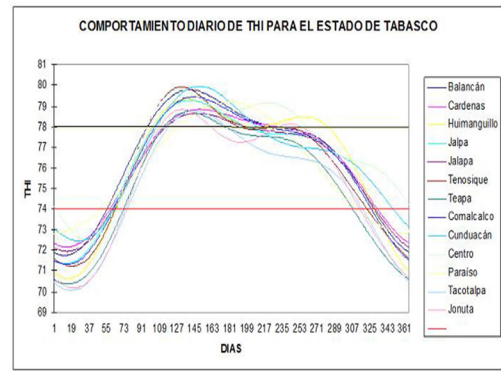
Figura 29. Valores de THI y sus significado en el confort del ganado bovino.

Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
38	77	79	82	84	86	89	91	93	96	98	100
37	76	79	81	83	85	87	90	92	94	96	99
36	75	78	80	82	84	86	88	90	93	95	97
35	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
34	74	76	78	80	82	84	85	87	89	91	93
33	73	75	77	79	80	82	84	86	88	90	91
32	72	74	76	77	79	81	83	84	86	88	90
31	71	73	75	76	78	80	81	83	85	86	88
30	71	72	74	75	77	78	80	81	83	84	85
29	70	71	73	74	76	77	78	80	81	83	84
28	69	70	72	73	74	76	77	78	80	81	82
27	68	69	71	72	73	74	76	77	78	79	81
26	67	69	70	71	72	73	74	75	77	78	79
25	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
24	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75
23	65	66	67	67	68	69	70	71	72	73	73

■ Normal
 ■ Alerta
 ■ Peligro
 ■ Emergencia

Fuente: Armendano, 2016.

Figura 30. Comportamiento diario de los valores de THI para 2010 en varias localidades de Tabasco, México.



Fuente: García, *et al.*, 2005.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Las diferentes razas y cruzas de ganado tienen diferente tolerancia al estrés térmico que se evalúa con el THI. Así, razas y cruzas predominantes de *Bos Taurus* tiene un intervalo de tolerancia de entre 55 y 72 de THI. En cambio, razas y cruzas con predominancia de *Bos indicus* tiene un intervalo de tolerancia al estrés térmico más elevado, con valores de THI de entre 65 y 85 (Muro, 1999).

El valor de THI se incrementa linealmente con incrementos en la temperatura promedio diaria, por ser un factor aditivo en su cálculo. En 1999 se calculó el comportamiento promedio diario a lo largo del año del THI en 13 estaciones meteorológicas representativas de los correspondientes municipios de Tabasco, cuyo resultado se muestra en la figura 30 (García *et al.*, 2005). Como se puede apreciar, al comparar las figuras 29 y 30, al día de hoy, gran parte del año (marzo a octubre) el ganado en Tabasco se encuentra bajo diferentes niveles de estrés térmico (THI mayor a 74), que fluctúa desde el rango de “Alerta” al de “Peligro” (THI mayor de 78), de acuerdo con lo reportado en la figura 30. Sólo los meses de noviembre a febrero el ganado se encuentra bajo confort.

Lo anterior indica que la ganadería en Tabasco es muy vulnerable al cambio climático. Conforme aumenten las temperaturas, se producirá menos carne y menos leche en aquellas razas y cruzas menos tolerantes al estrés térmico, como son las razas y cruzas dominantes de *Bos taurus* (europeas). Asimismo, los ganaderos que se dediquen a la cría de sementales verán disminuida su productividad, ya que bajo estrés térmico el ganado disminuye significativamente su tasa de apareamiento. Cualquiera que sea el escenario, incrementos en la temperatura de 1.2 °C a mediados de siglo o de 2.7 °C a finales de siglo, no van a disminuir los meses de confort. Bajo el mejor escenario (RCP2.6), se va a incrementar en un mes los meses de peligro (mayo-junio), cuando en la

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

actualidad sólo mayo es el mes de peligro. Es decir, se reduce en un mes los meses de alerta y se van a convertir en un mes de peligro para el manejo del ganado. Esto significa que a mediados del siglo la actividad ganadera se verá ligeramente afectada, pero seguirá siendo una actividad productiva. Para finales del siglo, se proyectó cuál sería el comportamiento del THI y se encontró que desaparecerían los meses de confort (noviembre a febrero), convirtiéndose en meses con situación de alerta. La mayoría del año pasaría de “Alerta” a situación de “Peligro” (García *et al.*, 2005) (figura 31). Esto se traduce en mayor estrés calórico para el ganado con el agudizamiento de los efectos ya señalados, que se traducirían en mayores disminuciones en la producción de carne y leche, y de ganado de cría.

Derivado del análisis anterior, se proyecta que las razas y cruza con sangre predominante de ganado europeo (*Bos taurus*) serán inadecuadas para la ganadería en Tabasco, e irán desapareciendo de los sistemas productivos a medida que se vayan elevando las temperaturas promedio diarias. Esto implica que paulatinamente la producción de leche irá desapareciendo del estado, ya que irán predominando las razas cebuanas (*Bos indicus*), productoras de carne y más tolerantes al calor (Muro, 1999). Así, los sistemas productivos de doble propósito carne-leche tenderán a desaparecer en Tabasco si ocurre el peor de los escenarios, y la ganadería del estado se transformaría hasta convertirse en sistema de producción de carne, como una medida de adaptación para hacer frente a un ambiente cada vez más caliente.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

Figura 31. Valores de THI mensual y anual para Tabasco, bajo el peor escenario (RCP8.5) para el 2080.

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Balancán	76	77	80	83	84	83	82	82	82	81	79	77	80.6
Cárdenas	76	81	79	81	83	83	82	82	82	80	79	77	80.4
Centro	76	81	80	82	82	83	83	83	82	81	79	81	81.1
Comitancillo	76	79	80	81	84	83	82	82	82	80	79	76	80.3
Cunduacán	76	80	80	82	84	83	82	82	80	80	80	79	80.7
Himanguillo	76	79	80	82	82	83	82	82	82	83	78	76	80.4
Jalpa	76	79	80	82	84	83	82	82	82	81	78	76	80.4
Jalpa	76	77	79	81	83	82	82	82	82	80	79	77	80.0
Jonuta	76	74	80	81	84	83	82	82	82	80	78	76	79.8
Paraiso	77	77	80	82	83	82	82	82	81	80	78	76	80.0
Tecotalpa	74	75	78	81	83	82	81	81	81	79	78	75	79.0
Teapa	74	75	78	81	83	82	82	82	81	79	77	75	79.1
Tenosique	76	76	80	82	84	83	82	82	82	80	78	77	80.1
Estatad	75.7	77.7	79.8	81.8	83.3	82.7	82.0	82.0	81.6	80.3	78.4	76.8	80.1

Confort ≤ 74

Alerta 75 - 78

Peligro 79 - 83

Emergencia 84 - 91

Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

- Armendano, F. (2016). *¿Cuándo se generan condiciones de estrés por calor en ganado bovino de carne?* Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad del Mar del Plata, INTA, EEA Balcarce. Texto completo de acceso libre, URL: www.engomix.com/ganaderi-carne/articulos/cuando-condiciones-estres-t32928.htm Última consulta: 23 de septiembre, 2016.
- Campbell, G. S., & Norman, J. M. (1998). *An introduction to environmental biophysics*. Second edition. Springer Science+Business Media, Inc., USA. 286 pp.
- Conde, A. C., & Gay, G. C. (2008). *Guía para la generación de escenarios de cambio climático*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México, DE, 104 pp.
- Ermex-Spot (Estación de Recepción México) (2013). *Texto completo de acceso libre*, URL: www.ermexnuevageneración.blogspot.mx/2013/09/cuenca-del-rio-usumacinta.html. Última consulta: 12 de febrero, 2017.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- García, H. C., Escudero, A. B. L., Pardo, P. J. M., Pérez, R. C. M., Aceves, N. L. A., & Juárez, L. J. F. (2005). "Determinación del índice de confort climático para la rejeguería en el estado de Tabasco. *Memoria de la VIII Reunión Científico-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria*, pp. 138-156.
- García, G. A., & Kauffer, M. E. F. (2009). "Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general", *Frontera Norte*, 23 (45): 131-162.
- García, H. J., Rodríguez, L. A. R., & López-Hernández, E. S. (2015). "Aspectos socioambientales para la adaptación y mitigación al cambio climático en comunidades de Nacajuca", *Horizonte sanitario*, 14 (3): 87-95.
- Hahn, G. L., Mader, T. L., Gaughan, J. B., Hu, Q. S., & Nienaber, J. A. (1999). "Heat waves and their impacts on feedlot cattle". En: Proc. 15th Intl. Cong. of Biomet. and Intl. Cong. Urban Climatology, Sydney.
- Hahn, G. L., Gaughan, J. B., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2009). Chapter 5: "Thermal indices and their applications for livestock environments". En: *Livestock energetics and thermal environmental management*, J. A. de Shazer (Ed.), American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, USA, pp. 113-130.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*, Jim Gytarsky (Ed.), Institute for Global Environment Strategies.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). *Climate Change 2014: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core writing team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (Eds.), IPCC, Geneva, 151 pp.

Análisis de escenarios de cambio climático para los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta

- Magaña-Rueda, V. O. (2009). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM-Itesm-INE, 82 pp.
- Muro, R. R. (1999). *Estimación del índice de confort climático para ganado bovino en el estado de San Luis Potosí*. Tesis de maestría en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Agronomía, UASLP, San Luis Potosí, 38 pp.
- Nájera, M. N. L., & Arteaga, R. R. (2000). *Antología del curso de Agroclimatología*, SEP/SEIT/DGETA, México, DF, 227 pp.
- Neild, R. E. (1980). *The effect of weather on corn: preseason precipitation and yields of unirrigated corn*, Historical materials from the University of Nebraska, Lincoln Extension Paper 712.
- Neild, R. E., & Richman, H. N. (1981). "Agroclimatic normals for maize", *Agricultural Meteorology*, (24):83-95.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2014). Texto completo de acceso libre, URL: www.siap.gob.mx. Última consulta: 10 de septiembre, 2016.



**El cambio
climático
desde
la perspectiva
social**





Actividades agrícolas,
cuenca del río Usumacinta



Fotografía
Antonino García García

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata: una lectura desde los activos y la estructura de oportunidades

*Alejandra Peña García
y Martha Patricia Fernández Salazar*

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar los impactos del cambio climático en las actividades productivas del municipio de Emiliano Zapata, Tabasco, desde la perspectiva de las percepciones sociales, teniendo como base información derivada de entrevistas semiestructuradas. Considerando las propuestas de activos y estructura de oportunidades de Moser (1998) y Busso (2001), y su relación con la vulnerabilidad social, se encontró que las comunidades están llevando a cabo adecuaciones espontáneas y aisladas para contrarrestar los impactos de los cambios en la precipitación y la temperatura que han experimentado desde hace aproximadamente tres décadas, pero no como parte de un esfuerzo consiente o una política pública. Es decir, aprovechan sus activos sin que el sector gubernamental haya diseñado una estructura de oportunidades que, conjuntamente, pueda ser aprovechada para adaptarse al cambio climático. El municipio pertenece a la parte baja de la cuenca del río Usumacinta, considerada una de las más vulnerables del país a los impactos del cambio climático.

Palabras clave: impactos del cambio climático, vulnerabilidad, estrategias de adaptación, activos, estructura de oportunidades.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Introducción

En términos científicos, el cambio climático se refiere a un conjunto de variaciones y transformaciones del clima, a escala planetaria y en un periodo de tiempo significativo, que ha llevado a un sector de la comunidad científica internacional a validar estos cambios bajo ese concepto: “cambio climático”, además de advertir de sus posibles manifestaciones en forma de eventos hidrometeorológicos extremos, entre otras. Sobre sus causas, se identifican dos posturas encontradas, aunque la que ha tenido mayor impacto es la que argumenta que el proceso de variabilidad climática que estamos experimentado actualmente es consecuencia de actividades antrópicas; es decir, de la quema de combustibles fósiles, cambios en el uso de suelo, actividades económicas como la agricultura y la ganadería, y generación de desechos, lo que ha ocasionado el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2007 y 2013).

Las conjeturas que han derivado acerca de impactos (económicos, sociales, ambientales y hasta políticos) que el cambio climático está teniendo y puede traer para la vida en el planeta, en general, están hechas principalmente desde perspectivas economicistas, por lo que se entiende como una externalidad negativa, de la que se debe ocupar la política pública por ser un asunto de interés público, un problema de la sociedad y, por lo tanto, un desafío para quienes toman decisiones.

En esta línea, México ha estado abierto a asumir compromisos en diversos foros internacionales sobre la temática y ha emprendido acciones decisivas en términos institucionales, legales y de política pública, siendo el más reciente el derivado de su participación en los trabajos de la Conferencia de las Partes para el Cambio

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

Climático, mejor conocida como COP21, de París. En esta reunión, se refrendaron los compromisos de implementar la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Programa Especial de Cambio Climático, en lo inmediato, y a reducir las emisiones de carbono negro en un 51%, y las de GEI en un 22%; ambas al 2030. En la vertiente de la adaptación, los compromisos son incrementar la capacidad adaptativa de la población ante el cambio climático en los 160 municipios más vulnerables (sector social), fortalecer acciones de protección y restauración de ecosistemas para alcanzar la tasa cero de deforestación en 2030 (adaptación basada en ecosistemas) y generar sistemas de prevención y alerta temprana en todo el país ante eventos hidrometeorológicos extremos (infraestructura estratégica y sectores productivos) (Gobierno de la República, 2015).

Dentro de las acciones de adaptación incluidas en la contribución de México en el sector social están: incorporar los enfoques climático, de género y de derechos humanos en todos los instrumentos de planeación territorial y gestión del riesgo; incrementar los recursos financieros para la prevención contra la atención de desastres; establecer la regulación de uso de suelo en zonas de riesgo; gestionar integralmente las cuencas para garantizar el acceso al agua, y asegurar la capacitación y participación social en la política de adaptación.

En este contexto, el propósito de este trabajo es analizar qué es lo que están haciendo los productores locales del municipio de Emiliano Zapata, Tabasco, frente a los cambios en los patrones de lluvia y temperatura, que dicen estar ocurriendo desde hace algunas décadas y que impactan en sus actividades económicas. Se parte de su actual situación socioeconómica, de la que se identifican sus recursos, habilidades y capacidades (activos). Posteriormente, se presenta información de primera mano derivada de entrevistas

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

a productores y actores sociales clave de las comunidades sobre sus percepciones del cambio climático, y se analiza considerando las propuestas de activos y estructura de oportunidades de Moser (1998) y Busso (2001). Se concluye con algunas reflexiones en torno a la inexistencia de una política pública de CC dirigida a la escala local.

Breves apuntes teóricos

Si se parte de la definición de cambio climático como la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (ONU,1992), podría decirse que existe casi un consenso de que en el presente se experimenta un cambio en el clima planetario, aunque el debate científico acerca de sus causas; es decir, de la contribución humana en el mismo, sigue abierto. Una de las evidencias de sus manifestaciones es el aumento en la temperatura promedio de planeta, lo que a su vez tiene múltiples consecuencias; por ejemplo, en los fenómenos meteorológicos, en los que se esperan cambios en su frecuencia, duración e intensidad (INE, 2005).

Ante los impactos que el cambio climático pueda ocasionar en las condiciones socioeconómicas actuales en la que se encuentran grandes cantidades de habitantes del planeta, especies animales y vegetales y ecosistemas en general, mueve a la preocupación y a la ocupación. En este sentido, resulta pertinente referirse al concepto de “vulnerabilidad social” que, a pesar de sus múltiples definiciones y enfoques, permite comprender el marco complejo de procesos que atentan contra la capacidad de subsistencia, bienestar y ejercicio pleno de derechos de individuos y comunidades (Cruz, 2014). Se toma el concepto de Busso (2001), definida como la fragilidad, indefensión y debilidad interna de grupos sociales ante cambios

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

originados en el entorno. La vulnerabilidad, menciona el autor, contempla la exposición a diversos riesgos sociales y naturales que pueden afectar negativamente los ingresos, consumos y otras dimensiones del bienestar material y no material de la población.

El concepto de vulnerabilidad social en el ámbito de las políticas públicas puede ser útil de varias maneras, pero aquí lo recuperamos primeramente en el sentido trabajado por Moser (1996), quien contempló el concepto de activos y de vulnerabilidad para estudiar la pobreza y su posible superación a través de la implementación de estrategias provistas por los mismos sujetos. Para Moser, los activos son recursos que permiten a los sujetos superar o reducir los riesgos sociales frente a situaciones de pobreza. De manera complementaria, Kaztman (1999) y Filgueira (2001) incluyeron el concepto de “estructura de oportunidades”, condición para que los activos funcionen y se posicionen en una estructura real de oportunidades. Por estructura de oportunidades se entienden las probabilidades de acceso a bienes, a servicios o al desempeño de actividades que permiten o facilitan el uso de recursos propios, mediante los cuales se pueden conseguir nuevos recursos (Cepal, 1999). Se trata de factores externos que el individuo no controla.

El enfoque integrado de activos, vulnerabilidad y estructura de oportunidades (AVEO) contempla factores internos (activos) y externos (estructura de oportunidades) para analizar la vulnerabilidad más allá de un enfoque de riesgos, centrando la atención tanto en los recursos que tiene la comunidad como en la estructura de oportunidades que el Estado, el mercado o la sociedad misma brinda a los sujetos para movilizar sus activos.

El conocimiento de los activos con los que cuentan los individuos en una comunidad, la forma en que los gestionan y sus estrategias de uso podrían ser un insumo fundamental en el diseño de

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

políticas locales de adaptación al cambio climático. En este trabajo se partirá de las percepciones sociales del cambio climático en el municipio, sus manifestaciones e impactos, así como las acciones que en la comunidad se han emprendido para hacer frente a las variaciones del clima, identificando los activos que tiene la comunidad.

Caracterización socioeconómica municipal

En este apartado se exponen los aspectos socioeconómicos básicos que caracterizan a la población del municipio de Emiliano Zapata, lo cual permite, por un lado, identificar la situación de vulnerabilidad en la que se encuentra, ya sea a los impactos del cambio climático o a cualquier otro fenómeno externo, y por otro, reconocer sus recursos, habilidades y capacidades existentes; es decir, los activos (Busso, 2001) con los que cuentan las comunidades para hacerles frente.

Emiliano Zapata forma parte de la cuenca baja del río Usumacinta, considerada un área trascendental de México y Mesoamérica (March y Castro, 2010), por lo que aporta en diversidad de especies y cultural, servicios ambientales y recursos hídricos y energéticos. En la parte baja, donde se concentra el 46.83% de la población total de la cuenca, se genera el 17.37% de la producción petrolera y el 21.55% de gas natural de la producción nacional (Pemex, 2014). Por su ubicación, la región es afectada por huracanes que provienen tanto del océano Atlántico como del Pacífico, generando precipitaciones torrenciales, inundaciones, daños a la infraestructura, así como riegos por deslaves que provocan importantes impactos socioeconómicos (BID, 2013).

De los 16 municipios que componen la cuenca baja, la cabecera municipal de diez de ellos se localiza dentro de los límites físicos

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

de la cuenca y, sólo seis, no lo están, por lo que estimando la población asentada en la cuenca baja, se tiene una población aproximada de 346 881 habitantes, de los cuales 171 880 son hombres (49.5%) y 175 002 mujeres (50.4%), de acuerdo con el Censo de Población 2010.

Emiliano Zapata tiene una extensión territorial que representa el 2.4% del total estatal y su densidad de población es de 51.7 hab/km². Predominan las localidades rurales. Tiene una población de 30 637 habitantes (sólo 1.3% de la población en la entidad, y aproximadamente el 10% de la población de la cuenca baja). El 47.5% son hombres y 52.5% mujeres. El índice de masculinidad es de 90.6, es decir, que existen noventa hombres por cada cien mujeres (INEGI, 2015).

La educación es condicionante de la calidad de vida de un individuo. La alfabetización es una necesidad básica de aprendizaje y se relaciona con la ciudadanía, identidad cultural, desarrollo socioeconómico, derechos humanos y equidad (Unesco, 2006). Los datos del Censo Intercensal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2015) muestran que en el municipio de Emiliano Zapata el porcentaje de personas sin escolaridad fluctúa en alrededor del 7%. El dato es de suyo relevante, ya que el analfabetismo influye en que la población no se encuentre preparada para resistir de la mejor manera las consecuencias del cambio climático, presentando problemas no sólo de riesgos de desastres, sino de poca resiliencia para hacer frente y recuperarse, dado que aunado a la condición de analfabetismo generalmente se encuentra la condición socioeconómica precaria. El mayor porcentaje de población cuenta con nivel básico de escolaridad (51.6%) y el 15% alcanza el nivel superior de educación. El cuadro 1 muestra el porcentaje de escolaridad en la población de 15 años y más.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Cuadro 1. Escolaridad en población de 15 años o más.

Escolaridad	Porcentaje de población
Sin escolaridad	7.4
Básica	51.6
Media superior	24.8
Superior	15.7
No especificado	0.5

Fuente: Inegi, 2015. Tabulados de la encuesta intercensal.

El mejoramiento de los niveles educativos por sí sólo no es suficiente para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático, si se toman en cuenta la existencia de empleos mal remunerados y las actividades productivas en deterioro. Sin embargo, la educación es un elemento fundamental para disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones, permitiéndoles adaptarse a nuevas posibilidades de empleo y obtención de medios de vida en otros sectores, y a enfrentar con más activos los embates de impactos externos, como los hidrometeorológicos; es decir, una inundación o una sequía. Por ello, la educación debe centrarse en el desarrollo no sólo de conocimientos teóricos e históricos, sino también en el desarrollo de habilidades y capacidades para enfrentar las condiciones de fragilidad y aumentar el empoderamiento social.

Cuantificar la población económicamente activa (PEA) de la región de estudio nos ayuda a construir una visión de la economía de la zona. Para acercarnos con mayor certidumbre a la dinámica de dicha economía, nos interesa concentrarnos en la población ocupada, dado que es ésta quien genera ingresos en las comunidades. El porcentaje de población económicamente activa en 2015 en Emiliano Zapata fue del 48.8%, estando mayormente activos los hombres que las mujeres, en una proporción de dos a

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

una. La PEA de Emiliano Zapata aporta el 1.3% del total de la PEA del estado de Tabasco (Inegi, 2015).

Las actividades económicas más importantes en las localidades del municipio son la agricultura, la cría y explotación de animales, la pesca y el aprovechamiento forestal. En el contexto del estado, de acuerdo con el más reciente *Informe laboral de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social de Tabasco* (2017), las actividades agropecuarias han caído en ocupación, ya que mientras que en el año 2000 había 28% de la población ocupada en esta actividad, para 2016 solo el 11% se empleó en labores agropecuarias, aumentando en ocupación las actividades comerciales. Sin duda, la precariedad del empleo y el desempleo son factores que contribuyen a generar condiciones de vulnerabilidad socioeconómica, desprotegiendo a las personas de la seguridad económica necesaria para cubrir necesidades básicas y planificar su vida, lo que las expone a situaciones de marginación y exclusión social.

Ante los posibles embates del cambio climático a escala local, particularmente en las actividades económicas primarias, como son las que predominan en el municipio, se hace urgente la generación o fortalecimiento de las estructuras de oportunidades pertinentes, constituidas, por ejemplo, por estrategias productivas que prioricen el fortalecimiento de la economía familiar y comunitaria, que fortalezcan la generación de empleos y la seguridad de los mismos, que potencialicen los activos de las comunidades del municipio, a fin de evitar efectos negativos tales como las migraciones.

En este sentido, los servicios en las viviendas son otro indicador relacionado con la estructura de oportunidades, ya que se asocia con niveles de salud y de bienestar de la población. Analizando la disponibilidad de servicios en las viviendas del municipio

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

de estudio, se observa que la disposición de agua entubada representa la menor cobertura en términos de servicio (78%), tanto a escala estatal como municipal; mientras los servicios de drenaje, sanitarios y electricidad se establecen en cifras cercanas al 100% (cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de disponibilidad de servicios en la vivienda.

Servicios	Tabasco	Emiliano Zapata
Agua entubada	65.8	78.2
Drenaje	97.0	97.2
Servicio Sanitario	97.0	97.2
Electricidad	99.3	98.6

Fuente: Inegi, 2015. *Panorama sociodemográfico de Tabasco 2015.*

Aun y cuando estos altos porcentajes pueden indicar condiciones favorables en la cobertura de servicios básicos en las viviendas, la cifra puede ser engañosa, ya que el dato no necesariamente se refiere al acceso real a los mismos. Por ejemplo, el 78.2% de viviendas con agua entubada, además de no ser un porcentaje alto, no habla del acceso ni de la calidad del líquido, aspectos que sí están ligados a un indicador relevante en la calidad de vida de las comunidades.

No obstante, según los indicadores de marginación del Consejo Nacional de Población (Conapo), Emiliano Zapata presenta un índice de marginación bajo y, definitivamente, no se ubica entre los municipios más marginados del estado, lo cual significa que las comunidades del municipio cuentan con recursos, capacidades y habilidades que les benefician, pero no al grado de reducir su vulnerabilidad ante cualquier fenómeno externo, por lo que sigue siendo pertinente que se identifiquen aquellos activos que puedan contribuir a reducir esta situación.

Metodología y resultados

En los estudios de cambio climático, el tema de la adaptación ha cobrado un singular interés porque, aun y cuando todas las emisiones de GEI se estabilizaran, los impactos de éste ya son inevitables. Por lo tanto, las políticas de adaptación juegan un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico frente a los escenarios de calentamiento global. La adaptación implica cambios conductuales y culturales por parte de todos los integrantes de la sociedad, por lo que, para su análisis, es imprescindible considerar la apreciación de la sociedad entorno a su medio. El éxito en la aplicación de estas estrategias ante los impactos del cambio climático depende de considerar a la sociedad y las percepciones que ésta tiene del mismo.

Con el propósito de conocer de primera mano cuáles han sido los impactos que la población del municipio de Emiliano Zapata atribuye como afectaciones en su localidad, asociados a la variabilidad en precipitación y temperatura, así como las medidas que han tomado como acciones de adaptabilidad a estos eventos, se realizaron entrevistas con diferentes actores considerados clave, de diversas actividades socioeconómicas, buscando obtener un punto de vista plural sobre el tema del cambio climático en su localidad.

Se determinó entrevistar a funcionarios de los tres niveles de gobierno (local, estatal, federal), buscando obtener información sobre posibles acciones de política pública de adaptación al cambio climático en los ámbitos locales. Los otros sectores de población identificados como clave, fueron: productores, población de la comunidad e integrantes de organizaciones de la sociedad civil (OSC); en especial a los productores, por representar el motor económico del municipio, y a los integrantes de las OSC, por realizar investigación de la temática en la zona.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Con base en el método de investigación cualitativo, en el periodo del 12 al 16 de diciembre de 2016, se efectuaron entrevistas semiestructuradas, con un guion particular para funcionarios y otro para el resto. En ambos casos, los temas que se trataron fueron: conocimiento del cambio climático, manifestaciones, causas, impactos y estrategias de adaptación. Las preguntas fueron abiertas, dando oportunidad a recibir matices sobre las respuestas por parte de los entrevistados, y estuvieron dirigidas básicamente a actores sociales que llevan a cabo alguna actividad económica, pues el interés del trabajo se centra en los impactos del cambio climático en la actividad económica, al ser ésta una variable detonadora del bienestar de las personas. Así, se entrevistaron agricultores, ganaderos y pescadores, por ser las tres actividades más representativas en el municipio.

Del sector gubernamental, se hicieron entrevistas a funcionarios de tres dependencias municipales: Desarrollo Económico, Ecología Municipal y Protección Civil. De una dependencia estatal, a funcionarios de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Del orden federal, se entrevistaron funcionarios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). Otros entrevistados, no ocupados en actividades económicas, de igual forma nos dieron información relevante (especialistas de las OSC), así como personas de la comunidad: una maestra de escuela primaria y la encargada de una tienda de abasto federal.

A continuación se ofrece un resumen de las respuestas recibidas, por tema, identificándose tanto las coincidencias como las diferencias, teniendo en cuenta que se busca conocer las percepciones sociales de los impactos del cambio climático en las actividades productivas.

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

Se inició con la pregunta sobre si el concepto “cambio climático” tiene algún significado o se reconoce como un proceso presente en el medio de los habitantes del municipio de estudio. Para la gran mayoría de los entrevistados, el cambio climático no fue abordado desde una posición de conocimiento amplio sobre qué lo origina y cuáles son sus causas.

Respecto a la pregunta concreta a los entrevistados sobre si saben o conocen acerca del cambio climático, todos respondieron sí conocer o haber oído hablar acerca del término “cambio climático”, con excepción de los pescadores entrevistados, quienes explícitamente dijeron no conocer ni haber oído sobre este tema. En contraste, los técnicos de las organizaciones de la sociedad civil y funcionarios de las instituciones respondieron con más detalle al respecto. Para ellos es evidente que sí hay cambios en el clima y sobre todo en el régimen de lluvias. En su mayoría, hicieron comentarios sobre modificaciones en las lluvias y la presencia más marcada de sequías, afectando sobre todo a la ganadería, la pesca y la agricultura. La maestra de educación primaria afirmó que el tema de cambio climático forma parte del programa escolar y se trata en la materia de Ciencias Naturales. De acuerdo con un biólogo de una OSC, los campesinos identifican empíricamente cambios en el régimen de lluvias a partir de sus efectos, pues a menor lluvia menor cantidad de peces.

Las respuestas de los entrevistados a la pregunta sobre cuáles son las manifestaciones del cambio climático en su región o comunidad fueron más extensas y explícitas que las referentes al conocimiento sobre este tema. El sector de productores, organizados en asociaciones, así como los no organizados, identificó cambios en el clima. Por ejemplo, cambios en la temperatura, como que en la época de invierno está haciendo más calor, cuando en otros años y en “condiciones normales” en invierno, en la mañana, amanece

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

fresco y, a medio día, sube la temperatura. En los meses de invierno hace un poco de frío –dicen– y ahora no lo están sintiendo así. “Es diciembre y no hace frío”. En contraparte, hicieron referencia a que actualmente el sol es más intenso, sobre todo en los meses de abril y mayo. Mencionaron que lo han observado desde hace unos 15 o 20 años. En materia de temperatura, también señalaron que hay sequía, porque no han tenido crecidas súbitas del río que antes si tenían, año con año. La gente reciente el fuerte calor.

En el ámbito de las autoridades del gobierno municipal también identificaron manifestaciones de cambio en las temperaturas, pero en sentido inverso al de los productores, como que se han presentado heladas, mismas que atribuyen al cambio climático. Hicieron mención que las han sufrido desde 2011 y que estas bajas en las temperaturas han afectado a la ganadería, porque los pastizales se secan, así como los pastos inducidos, provocando escasez.

Otro de los aspectos que los entrevistados señalaron como una manifestación del cambio climático, son los cambios en el régimen de lluvias. Los funcionarios federales explicaron que observan cada vez más desfasado el periodo de lluvias y, con ello, sus repercusiones también en la agricultura. Antes, se tenía bien programado el ciclo de siembra; ahora es incierto por la incertidumbre de las lluvias. En el pasado, la temporada de estiaje duraba dos meses: marzo y abril. Actualmente, inicia desde febrero, marzo, abril, extendiéndose a mayo e, incluso, al mes de junio, lo que impacta directamente en la agricultura.

En el otro extremo, si llueve en exceso también les afecta. Aún recuerdan la última gran inundación en Villahermosa en el 2007, que afectó una gran zona aledaña; entre ellos, al municipio de Emiliano Zapata.

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

Hay irregularidad en las lluvias, como hace dos años, en el 2015, donde las inundaciones se presentaron en el mes de enero, con una lluvia torrencial como si fuera el mes de junio. Fue totalmente atípico que en enero lloviera 700 milímetros cúbicos en un solo día.

Los productores también han observado que las lluvias son más escasas:

Un norte podía generar lluvias que duraran una semana, y ahora ya no.

Expresaron que, si la temporada de lluvias no llega, o tarda, no se puede sembrar.

Las autoridades estatales coinciden en que el régimen de lluvias ha cambiado.

Las lluvias inician en el mes de mayo y siguen hasta octubre incluso noviembre. En este año es diciembre y no ha llovido. Solo ha habido lluvias esporádicas.

Observan que en otros años, los vasos reguladores de la planta potabilizadora de agua se llenaban; en este año no ha sucedido así, y eso desde hace aproximadamente dos o tres años atrás. Los comentarios de las autoridades estatales concuerdan con los de los productores, en que ya no hay una época de inundación, que antes se presentaba año con año.

Respecto a las causas que provocan el cambio climático, los diferentes actores entrevistados señalaron de manera general dos principales: deforestación y diferentes formas de contaminación. Los productores organizados y los no organizados, los sectores ganadero y pesquero, los gobiernos municipal y estatal, y también

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

integrantes de la comunidad, coincidieron en señalar que son estas dos acciones las que generan el cambio climático.

Los productores pecuarios y pescadores, a las anteriores agregaron la mecanización del campo y su contaminación con agroquímicos.

Primero se trabajaba en el campo con machete, después tractor y ahora con agroquímico.

Las lluvias llevan el veneno que se aplica en las tierras a la laguna. Los peces también están contaminados con agroquímicos.

Por su parte, los pescadores no organizados también identifican que hay contaminación de las aguas. Observan que el río está contaminado, ya sea por los residuos de los drenajes vertidos en su cauce, por basura que se tira en las aguas o por animales muertos que tiran al río.

Otros integrantes de la localidad entrevistados, también señalan la contaminación y la tecnificación entre las principales causas del cambio climático.

El cambio climático se dio desde que la tecnología empezó a avanzar y con la contaminación. El otro día vi que una lancha se paró a la mitad del río y pensé que iban a lanzar una red y vi como tiraban los costales de basura a la mitad del río. De qué nos va a servir tener el agua, nosotros mismos estamos ocasionando eso. Yo pienso que el cambio climático viene de tantos aparatos eléctricos que tenemos. Y aparte que se están deshielando los polos.

El gobierno municipal está de acuerdo con que la deforestación es una de las principales causas: la tala inmoderada y falta de reforestación provocan que no llueva. Para ellos, hay más vegetación en el estado de Chiapas que en Tabasco, lo que provoca que allá llueva más.

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

En Chiapas hay una vegetación exuberante, hay más lluvias en Chiapas que en Tabasco.

También señalan la quema de pastizales (accidental o intencional) como una forma de contaminación que les afecta:

En enero . . . marzo . . . , hay quema de pastizales (el “efecto lupa” prende el fuego) y no podemos apagarlo, sólo tenemos una pipa. Los campesinos no tienen la cultura de hacer su guardarraya (montículo de tierra que evita que el fuego crezca).

Funcionarios del gobierno federal encuentran también que la contaminación por quemas es factor que causa el cambio climático, identificando que en el mes de abril se puede observar mucho humo en el ambiente por la quema. Para ellos, la siembra de palma es una estrategia de beneficio económico, pero reconocen que no es bueno para el ambiente.

Desde el sector estatal identifican, como causa del cambio climático, el calentamiento global, y también la contaminación, aunque consideran que en la región hay pocas emisiones y mucha vegetación. Pero lo que tienen como problema grave es la basura, pues se generan muchos desperdicios de plástico. Sin embargo, no relacionan directamente este problema ambiental con el cambio climático.

En el punto sobre cuáles consideran que han sido los impactos del cambio climático, todos los actores de los diferentes sectores entrevistados coincidieron en que éste impacta a todos los productores, ya sean agrícolas, ganaderos o pescadores.

Para los ganaderos organizados, el cambio climático sí afecta a la ganadería. Si las lluvias no son normales o hace frío, o no hay

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

agua y poco sol, esto afecta la cantidad de pasto. Con el mismo número de animales y menos pastos, se tienen que comprar pacas de pastos para alimentarlos, lo que aumenta sus costos. Sin embargo, en donde ellos perciben los mayores impactos por el cambio climático es en el estrés que el calor excesivo provoca en los animales.

Quando hay sequía, aumenta mucho la producción de la garrapata, y tenemos que atacar este parásito. Esto nos afecta económicamente, pues necesitamos invertir en productos farmacéuticos y químicos que aumentan los costos de producción, disminuyendo las ganancias.

Por su parte, los pescadores también perciben que el cambio climático ha afectado la pesca. Han observado que desde hace ocho o diez años, en algunas partes el río ha bajado su caudal en comunidades aledañas: Tenosique, Vicente Guerrero y Tierra Blanca. Han visto más sequedad que el año anterior. Dicen que hay poco pescado, a pesar de que se ha sembrado (especie tilapia). Las lagunas también están bajas, señalan. En opinión de la maestra de nivel primaria, en la pesca el cambio climático les está afectando, pues así lo manifiestan sus alumnos cuyos padres son primordialmente pescadores. Los comentarios en la comunidad son que no pescan las cantidades de antes.

En esta época, donde ponían sus redes, ahí capturaban; ahora es muy poca la pesca. Si no hay ingresos por el pescado afecta la agricultura, no pueden comprar gasolina; es una cadena que perjudica en todo.

La maestra también considera que los cambios en el clima afectan la salud de los niños, porque cuando hay cambios bruscos en la temperatura, de pasar de muy soleado a lluvia, los alumnos amanecen con gripa. Otra señora de la comunidad entrevistada (encargada de una tienda de Liconsa), coincidió que con los

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

cambios en el clima los más afectados son los ancianos y los niños, ya que se enferman, les dan gripas. También señaló que la pesca se ha mermado (el robalo).

Desde el punto de vista de los especialistas de las organizaciones de la sociedad civil, los impactos del cambio climático se pueden observar en las aves, ya que algunas de las especies han emigrado. Hay poca presencia de aves en los humedales, pues la falta de lluvia afecta los humedales y a las aves.

Las autoridades municipales concuerdan en que la pesca está afectada, y también la ganadería. Coinciden con los productores (como se dijo al principio), que el ganado está acostumbrado a un clima de 31, 32° y le afecta el frío, de 16, 18°, y que los pastos se secan. El ganado está mejor adaptado al calor.

En verano las reses engordan, y en el tiempo de frío les crece el pelo y se ponen flacos. El ganadero trata de vender antes del mes de noviembre. Viene el frío y ya no hay pastura.

Respecto al agua, antes la gente utilizaba los jagüeyes; no se secaban. Hoy en día usan los pozos profundos porque los jagüeyes se secan. Debido al cambio climático, los animales resienten y mueren porque no hay agua.

Por ejemplo, en el Estado de México, los animales están acostumbrados a comer la caña seca, melaza. Aquí en Tabasco, si no es verde, los animales no se comen las pasturas, prefieren morir; es una pérdida económica para el ganadero.

Otro posible impacto asociado a las variaciones climáticas podría ser la migración que se observa en la zona. Si bien este fenómeno puede ser producto de diversos factores, el cambio climático, de manera indirecta, es una posible causa. En la región

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

se puede observar migración a escalas local, estatal y externa. La población se mueve de las comunidades de las rancherías a la cabecera municipal. Con trabajo de albañiles, salen buscando mejores condiciones de vida. De Emiliano Zapata han emigrado a la Ciudad de México, a Chihuahua, a Baja California, a toda la república mexicana y a los Estados Unidos. Los testimonios del sector institucional federal sobre este asunto señalaron que fue una sequía extrema en el año 2010 lo que generó mucha muerte de ganado; expulsó gente, a pesar de que se llevó a cabo un programa de pozos para ganaderos -abrevadero ganado-, instalando cincuenta de ellos.

Como acciones de adaptación al cambio climático, los diversos actores entrevistados respondieron que han tenido que ir implementando algunos cambios en sus respectivos procesos productivos, sobre todo en la agricultura.

Los productores han tenido que cambiar los cultivos y adaptar los ciclos de siembra. Hoy en día, con el clima extremo, más frío y más calor, ya casi no se siembra sandía porque el frío más fuerte le afecta. Los campesinos estaban acostumbrados a las fuertes lluvias y con ello a grandes cantidades de agua.

Por la escasez de agua, la agricultura ha variado muchísimo. En esta región se sembraban aproximadamente 1 000 hectáreas de sandía; hoy hay muy poca por la falta de agua. Hoy se está sembrando frijol, maíz, sorgo, todo en las márgenes del río por las comunidades. Personas a las que les iba bien, de repente rentaron la tierra, perdieron y tuvieron que irse.

Se han cambiado las fechas de siembra porque ya no se sabe cuándo va a llover. Los campesinos estaban preparados con sus semillas, porque sabían cuándo iba a llover; ahora no es tan previsible.

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

Se tenían dos cultivos: otoño-invierno y primavera-verano. El más común es primavera-verano. Inclusive se llega a realizar una siembra a fines de enero, que ya está pasando el frío. Esta siembra la hacen con la conciencia de que pueden perder, que no va a producir nada, pues puede llover o no. Mayormente, los agricultores que sí producen son los que están en toda la ribera del río, porque esa tierra es más húmeda, como arena, y con esa poca cantidad de agua en la tierra logran las cosechas.

El sector de las instituciones federales coincide en que se han movido las siembras (antes las hacían en febrero y ahora en marzo). Hay cultivos anuales: maíz, calabaza, arroz y sorgo. Para el caso de la calabaza (chihua), se dejó de sembrar por la caída de precios, plagas y el incremento de los insumos. Desde su perspectiva, consideran que el problema no es propiamente el agua, sino que cuando se retrasan las lluvias y con ello la siembra, las plagas afectan a la planta de maíz aún sin crecer, y la dañan. En cambio, si se siembra en periodo regular, cuando viene la plaga, la mazorca ya está grande y la plaga no le hace daño, sino que ayuda, pues se come la hoja.

Discusión y conclusiones

Se ha aseverado que el cambio climático es un asunto de preocupación mundial, por su alcance planetario y sus efectos. Sin embargo, está lejos de asegurarse que todos los seres humanos del planeta saben de qué se trata. En la zona de estudio, el conocimiento del mismo no llega ni al punto de haber escuchado conceptos relacionados como “calentamiento global” y “efecto invernadero”, lo que lleva a reflexionar de que se trata de conceptos científicos y políticos, principalmente, que llegan sólo a oídos privilegiados en materia de acceso a la información. Luego, escuchar, no deriva necesariamente en estar informado y actuar. No obstante, lo que

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

se observa es que la gente está actuando, no como estrategia de adaptación, sino movida por las circunstancias y sus necesidades, aun sin saber y sin conocer del cambio climático.

Las entrevistas in situ muestran que los productores cuentan con un conocimiento empírico, no del clima, sino del estado del tiempo, derivado de la relación directa que sus actividades tienen con dos de los elementos básicos del clima: temperatura y precipitación.

No se ha generado conocimiento local sobre el cambio climático, ni siquiera mediante el alcance e impacto que los medios masivos de información tienen, ni por parte de las instancias gubernamentales, al no existir programas ni campañas en referencia al tema. A pesar de haber una robusta institucionalización y legislación en materia de cambio climático a escala federal, e incluso en el ámbito estatal –pues el Programa Acción frente al Cambio Climático del estado de Tabasco (2011) es reconocido por ser vanguardista al incorporar la perspectiva de género– en lo local el tema no parece ser relevante ni prioritario.

Esta falta de conocimiento permea incluso en los funcionarios locales, a quienes, en teoría, debería llegar primero la información, al ser los tomadores de decisiones y los encargados de implementar las acciones derivadas de la política pública en la materia. Ello de suyo es significativo, considerando que Emiliano Zapata es uno de los pocos municipios que en teoría cuenta con un programa municipal de acción climática, del cual, ningún funcionario municipal nos habló, ni aun a pregunta expresa. De hecho, no se pudo tener acceso a dicho documento en las oficinas gubernamentales visitadas, ni a través de los medios electrónicos.

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

La capacitación en la materia es prácticamente inexistente, o bien, está dándose de manera muy lenta y de manera vertical. Se capacita a funcionarios locales que en tres años dejarán su cargo, sin tener la certeza de que los conocimientos se transmitan a la gente de las entrantes administraciones. Se encontró información en la página web de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental sobre la realización de un taller para la elaboración de Planes de Acción Climática Municipal en la entidad, dirigido a los representantes de protección civil de nueve municipios (entre ellos, Emiliano Zapata), pero en las oficinas municipales visitadas, lo desconocían.

Haciendo una revisión del Plan Municipal de Desarrollo (2016-2018) se observa que, en relación con el cambio climático, se aborda más como un asunto de injerencia de protección civil que como una problemática que requiere de un manejo transversal, contemplado en las diferentes direcciones de gobierno y con acciones coordinadas. Se vislumbra que lo referente al cambio climático sólo se identifica como el riesgo que la población tiene por su exposición a eventos hidrometeorológicos, de ahí que esté contemplado en el apartado de seguridad y protección. Consideran el cambio climático dentro del apartado de desarrollo sustentable del Plan Municipal, pero desligado de otras acciones en las que también tendría que contemplarse, como sus afectaciones en las actividades económicas, básicas en el municipio. No se aprecia que el Plan Municipal considere el cambio climático en materia de adaptación y, aún menos, sobre mitigación.

Los impactos a las actividades productivas y, por ende, al bienestar de las familias que dependen de esos ingresos, son diversos, aunque diferenciales. Aquellos productores que cuentan con más recursos y activos son los que tienen más posibilidades de verse menos afectados por los cambios climáticos. En el caso de este

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

municipio, a decir por la información proporcionada por las personas entrevistadas que nos hablaron de la casi inexistencia de programas de apoyo a las actividades productivas, más allá de apoyos reactivos limitados ante pérdidas derivadas de ciertos fenómenos hidrometeorológicos, no se observa una estructura de oportunidades fuerte para movilizar los activos presentes en la zona. Es la misma sociedad quien tiene una estructura limitada, con la cual genera sus propias oportunidades y que se ve favorecida por las características propias del medio –abundancia relativa de agua y otros recursos, como los pesqueros– que les permiten, por ejemplo, diversificar sus actividades productivas con las que se aseguran el sustento. Así, un mismo productor siembra buscando cubrir, por lo menos, su consumo familiar; pesca un poco y mantiene un animal, en el mismo sentido.

Esta estructura parece endeble y tal vez, más que social, apenas sea de carácter familiar e individual, lo que la hace aún más vulnerable a cualquier estímulo negativo externo, como lo podrían ser el aumento de las variaciones climáticas en la zona. Los activos presentes en la zona de estudio, que en el apartado de la caracterización socioeconómica mostraron ya un cierto grado de vulnerabilidad, podrían verse seriamente trastocados ante la tardanza en la actuación del sector gubernamental, en el sentido de diseñar estrategias adecuadas y efectivas de adaptación al cambio climático.

Se encontró que, ante los cambios en la precipitación y temperatura, la gente ha reaccionado de diversas formas, pero siempre evitando que las pérdidas sean excesivas; es decir, que comprometan seriamente su situación familiar. Algunas de ellas podrán interpretarse como estrategias de adaptación ante el cambio climático. Sin embargo, no parecen existir los conocimientos técnicos suficientes ni las capacidades económicas,

Estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio de Emiliano Zapata

ni tampoco se observa la intervención gubernamental de ningún orden de gobierno.

Además, las estrategias que los productores empíricamente han implementado pueden funcionar solo temporalmente y de manera limitada, ante la falta de una estructura de oportunidades más sólida que las haga realmente viables. Por ejemplo, si la decisión de mover los tiempos de las siembras ante lo impredecible de las lluvias, no se ve acompañada de la posibilidad de adquirir insumos a mejores precios o apoyo en la comercialización de la producción, esta estrategia emprendida por algunos productores no necesariamente va a ser exitosa.

El presente trabajo parte de la premisa de que el cambio climático es un fenómeno que ocasiona un calentamiento global, principalmente derivado de las actividades humanas. El interés central fue observar sus impactos en la escala local, principalmente en las actividades productivas, sin poder brindar evidencia científica de que las variaciones climáticas de las que nos dieron cuenta las personas entrevistadas sean manifestaciones atribuibles al cambio climático. Este aspecto escapa del objetivo planteado. Por lo tanto, cuando nos referimos al cambio climático y a conceptos afines como “adaptación” o “mitigación”, lo hacemos más desde su uso dentro del ámbito de los problemas de lo público, donde la injerencia gubernamental es fundamental.

Desde esta perspectiva, lo que se observó fue la ausencia de la intervención gubernamental en forma de políticas públicas; a decir, por la falta de programas y acciones que aborden el tema. Ello, a pesar de que, en el discurso político, el tema ocupa un lugar relevante.

Lo que sucede a escalas locales en materia de acciones frente al cambio climático y sus efectos en todos los ámbitos de la vida

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

social y económica de las personas, es un vacío que se manifiesta desde el conocimiento mismo del problema. La información y capacitación tarda en llegar a los niveles inferiores, donde los efectos de la variación climática son evidentes. Ni siquiera aun en los ámbitos gubernamentales local y estatal, se podría hablar de un conocimiento sobre el cambio climático que tenga algún efecto en la forma en que se actúa en los sectores que componen la administración pública. Menos aún, se podría esperar una cooperación y una coordinación intersectorial en el tema del cambio climático como problema público. En este sentido, también están ausentes y desaprovechadas las sinergias con otros actores sociales, tales como los centros de investigación o las organizaciones de la sociedad civil. Los instrumentos legales y normativos también están siendo desaprovechados, al no aplicarse.

Avanzar en el tema de la adaptación al cambio climático, como estrategia para fortalecer tanto los activos locales presentes como en la estructura de oportunidades que permita movilizarlos, es un reto que requiere la intervención de diversos sectores de la sociedad, pero dirigidas a que el sector gubernamental pueda tener mayores capacidades para coordinar las acciones necesarias a implementar, a fin de evitar llegar a una situación de vulnerabilidad extrema de las poblaciones que hoy en día padecen los impactos del cambio climático.

Las estrategias de adaptación expresadas por los actores entrevistados son un activo desarrollado por los productores, más como una reacción de respuesta ante las circunstancias, que como una medida en la que las autoridades estén interviniendo de forma concreta; se refleja una disociación entre gobierno y gobernados. También, ello deja en evidencia la débil relación que a escala local existe entre quienes investigan sobre el cambio climático y quienes elaboran las políticas públicas sobre éste.

*Estrategias de adaptación al cambio climático
en el municipio de Emiliano Zapata*

Bibliografía

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Abt Associates (2013). *Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral de las Cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta*. Volumen I. Consultado el 17 de abril de 2017 en: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wpcontent/uploads/downloads/InfoPlanEstatel/PAOM_Grijalva-Usumacinta/Volumen1_PAOM_Diagn%C3%B3stico.pdf
- Busso, Gustavo (2001). "Vulnerabilidad social: nociones e implicancias de políticas para Latinoamérica a inicios del siglo XXI". Documento preparado para el Seminario Internacional Las Diferentes Expresiones de la Vulnerabilidad Social en América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 20 y 21 junio, 2001.
- Cabrera, J. y Cuc, P. (2002). "Diagnóstico socioambiental de la cuenca del Río Usumacinta". Consultado el 11 de marzo de 2017. Recuperado de <http://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/>
- Comisión Económica para América Latina (Cepal) (1999). *Marco conceptual sobre activos, vulnerabilidad y estructura de oportunidades*, Montevideo.
- Consejo Nacional de Población (Conapo), (2010). *Tabasco. Grado de marginación por municipio*. Consultado el 3 de abril de 2017. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/mf2010/AnexosMapas/Mapas/Entidadesfederativas/Mapa%20B27Tabasco.jpg
- Cruz Castillo, A. L. (2014). "Activos sociales, vulnerabilidad y estructura de oportunidades: aportes para los estudios de hábitat", *Traza* (9), 62-70.
- De la Maza, R. (1997). "El paisaje. La visión primigenia". En *Selva Lacandona: un paraíso en extinción*, Pulsar, México, 157 pp.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Filgueira, C. (2001). *Estructura de oportunidades y vulnerabilidad social, aproximaciones conceptuales recientes*, Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina (Cepal).
- Gobierno de la República (2015). *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Gobierno de la República, México. pp. 21. Consultado el 21 de marzo de 2017. Recuperado en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015_indc_esp.pdf
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2005). *La ciencia del cambio climático*. Recuperado el 1 de febrero de 2017, Instituto Nacional de Ecología: <http://www.ine.gob.mx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2010). *Censo de Población y Vivienda*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2010). *Marco Geoestadístico Nacional*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2010). *Prontuario de información geográfica municipal. Emiliano Zapata, Tabasco*. Consultado el 9 de marzo de 2017. Recuperado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/27/27007.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2015). *Panorama sociodemográfico de Tabasco*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2015). *Conteo intercensal*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, United Kingdom y New York, USA, Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Final Draft*

*Estrategias de adaptación al cambio climático
en el municipio de Emiliano Zapata*

Underlying Scientific-Technical Assessment, Stockholm, Sweden.

- Kaztman, Rubén (Coord.) (1999). *Activos y estructura de oportunidades. Estudios sobre las raíces de la vulnerabilidad social en Uruguay*, PNUD-Uruguay y CEPAL-Oficina de Montevideo, Uruguay.
- March Mifsut, I. J. y Castro M. (2010). “La cuenca del Río Usumacinta: perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable”. En Cotler Ávalos, H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Recuperado de <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros>
- Moser, Caroline (1998). “The Asset Vulnerability Framework: Reassessing Urban Poverty Reduction Strategies”. *World Development*, vol. 26, No. 1, Elsevier Science, Gran Bretaña.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU)(1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
- Petróleos Mexicanos (Pemex) (2014). *Anuario estadístico*. Recuperado de http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/2014_ae_00_vc_e.pdf
- Sánchez, Luis y Reyes Orlando (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y El Caribe. Una revisión general*. Estudios del Cambio Climático en América Latina. Chile. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal)-Unión Europea.
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) y Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) (2016). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social*.
- Secretaría de Gobernación (Segob). *Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM)*. Consultado el 29 de marzo de 2017. Recuperado de <http://www.snim.rami.gob.mx/>

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), Subsecretaría de Empleo y Productividad Laboral (2017). *Informe laboral, Tabasco*. Recuperado de <http://www.stps.gob.mx/gobmx/estadisticas/pdf/perfiles/perfil%20tabasco.pdf>
- Unesco (2006). "Why literacy matters". En *Education for all. Literacy for life* (pp. 135-145), Unesco Publishing, Paris.





Pescadores artesanales.
Pantanos de Centla

Fotografía
Antonino García García



Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

*Alejandro Ortega Argueta, Rodimiro Ramos Reyes,
Armando Hernández de la Cruz,
Dora Elia Ramos Muñoz, Miriam Aldasoro Maya
y Alejandro Espinoza Tenorio*

Resumen

En este capítulo se presenta un proceso de planificación participativa a partir del cual se identificaron medidas de adaptación para la subregión Pantanos, en Tabasco. Estos insumos sirvieron para la preparación de un programa piloto de adaptación que pudiera ser considerado en el diseño de políticas locales. Las medidas de adaptación se identificaron en un taller realizado en 2014 donde participaron 57 pobladores de los municipios de Centla, Jonuta y Macuspana. El capítulo se divide en cinco secciones: 1) los retos del cambio climático en Tabasco, 2) marco conceptual de la adaptación y los procesos de planificaciones participativa y espacial, 3) metodología utilizada para el diagnóstico y la elaboración del programa piloto, 4) resultados en el contexto de la subregión costera de Pantanos y 5) conclusiones sobre los retos de planificar e implementar programas piloto para fortalecer la adaptación al cambio climático con participación de la sociedad.

Palabras clave: planificación participativa, gestión de recursos naturales, desarrollo rural, vulnerabilidad, resiliencia.

Introducción

Se estima que a partir de la revolución industrial se ha exacerbado el calentamiento global mediante la acumulación acelerada de gases de efecto invernadero en la atmósfera, especialmente el dióxido de carbono y metano (Cerutti, 1995; Conde, 2007). Para 2007 la temperatura promedio global se ha elevado en 0.65 °C, respecto a la temperatura promedio de la primera mitad del siglo XX (Conde, 2007). El aumento gradual de la temperatura viene acompañado de otros efectos, como el aumento del nivel del mar, además de otros que todavía no se logran percibir o entender. Los cambios en el clima repercuten ya en muchos ámbitos de la vida del ser humano, más allá de los asuntos meramente técnicos. Los cambios en las temperaturas modifican los sistemas ecológicos, los sistemas productivos y, por consiguiente, los sistemas sociales. El reto de la humanidad es anticiparse a esos cambios que se plantean y proponer respuestas y ajustes en los sistemas socioecológicos para enfrentar de mejor manera el cambio climático (CC). En estos procesos, se considera que la participación de las instituciones y actores locales es fundamental para proponer una adaptación más robusta (Few *et al.*, 2015). Sin embargo, también se enfrentan mayores desafíos en la gestión de la adaptación debido a las capacidades más débiles que tienen los gobiernos locales (Jones *et al.*, 2010).

En este capítulo se presentan los resultados de un proceso de planificación participativa donde se identificaron medidas de adaptación de la subregión Pantanos, en Tabasco¹, México, en un taller realizado en 2014 al que fueron convocados varios

1 El estado de Tabasco se divide en dos grandes regiones hidrológicas: la región del río Grijalva y la región del Río Usumacinta. A su vez, estas dos regiones se dividen en cinco subregiones geoeconómicas: Centro, Chontalpa, Sierra, Ríos y Pantanos. Las tres primeras subregiones corresponden a la región del río Grijalva y, las últimas dos, a la región del Río Usumacinta.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

sectores sociales. La información recogida del taller, que muestra explícitamente el contexto espacial de los municipios, fue incorporada a un programa piloto de adaptación al CC, diseñado específicamente para cubrir una escala regional. Este diagnóstico pudiera ser considerado en el diseño de políticas locales, como los Planes de Acción Climática Municipal (Pacmun).

Los objetivos del estudio fueron: 1) realizar un análisis de las problemáticas locales municipales, de la vulnerabilidad a escala comunitaria y de subregiones, y de las capacidades locales de gestión, y 2) diseñar medidas de adaptación en respuesta a las problemáticas y vulnerabilidades anticipadas.

El capítulo se divide en cinco secciones: 1) los retos del CC en Tabasco, 2) marco conceptual de la adaptación y procesos de planificaciones participativa y espacial, 3) metodología utilizada para diagnóstico y elaboración del programa piloto, 4) resultados en el contexto de la subregión costera de Pantanos, y 5) conclusiones sobre los retos de planificar e implementar programas piloto para fortalecer la adaptación al CC con participación de la sociedad.

El cambio climático en Tabasco

Se estima que por el impacto global del CC habrá pérdidas económicas de hasta un 20% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, en escenarios que registren aumentos de temperatura por encima de 5 °C (Semarnat, 2012). Entre las regiones más afectadas ante el CC se encuentran África, el sureste de Asia y América Latina. En estas regiones, México se encuentra entre los países más vulnerables ante eventos climáticos. Esta vulnerabilidad se asocia con la alta dependencia de sectores primarios sensibles al CC, tales como el agrícola, ganadero y el pesquero. También, se asocia a las condiciones socioeconómicas de rezago y

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

marginación, aunados a los procesos actuales de industrialización y urbanización, así como el uso indiscriminado y consecuente deterioro de los recursos naturales (Semarnat, 2009; 2012).

Tabasco es el estado de México con el mayor escurrimiento hídrico. En Tabasco se encuentran dos de las cuencas hidrológicas más importantes del país: la cuenca de los ríos Mezcalapa-Grijalva y la cuenca del río Usumacinta. Esta última sirve de límite geopolítico entre México y Guatemala, así como entre los estados de Tabasco y Chiapas. Otra característica territorial en Tabasco son las pendientes bajas y amplias, típicas de las llanuras aluviales. Aproximadamente, el 60% del territorio está a un nivel inferior, a 20 msnm y, en el caso de las ciudades, 11 de las 17 cabeceras municipales, incluyendo Villahermosa, la capital del estado, están por debajo de una cota de 20 m (Gobierno del Estado de Tabasco, 2013).

Tabasco ocupa un segundo lugar en el ingreso per cápita mayor de México y destaca por la producción del 17% del petróleo y 22% del gas natural del país (Pemex, 2014). Paradójicamente, el estado continúa siendo vulnerable socioeconómicamente a los efectos anticipados del CC por sus contrastes y rezago en bienestar social. Además, los fenómenos hidrometeorológicos extremos son recurrentes. En la década 2000-2010, estos fenómenos causaron pérdidas por más de 6 500 millones de pesos al año en el sector agropecuario y en la infraestructura civil. Se estima que una población mayor a 300 000 habitantes ha padecido inundaciones severas (Díaz Perera *et al.*, 2016). La inundación del 2007 afectó al 75% de su población y tuvo un costo económico equivalente al 29% del PIB estatal (BID, 2014).

Un instrumento científico que se ha utilizado para anticipar los posibles efectos del CC es la construcción de modelos de escenarios climáticos. Estos modelos se han realizado en función

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

de dos variables principales: precipitación y temperatura, además de considerar algunas variables geográficas, como el relieve. En estos escenarios, se vislumbra que la combinación de cambios en la temperatura (1-5 °C) y precipitación con otros procesos locales y las características fisiográficas de Tabasco ocasionarán algunos posibles impactos tales como: 1) aumento en el nivel del mar, 2) eventos climáticos extremos, como tormentas, 3) modificaciones en los cauces de los ríos y desbordamientos, y 4) salinización de los suelos costeros y la disminución de su potencial alimentario (Sernapam, 2011; BID, 2014). El aumento de la temperatura y sequías continuas, aunado a una mala planificación del desarrollo rural, podría resultar en una paulatina pérdida de la productividad primaria en los sectores agropecuario y pesquero, afectando a los miles de familias que viven del autoconsumo.

En cuanto al aumento en el nivel del mar, se prevé una pérdida de hasta el 8% del territorio litoral de Tabasco, el cual tendría un costo estimado en 1 500 millones de pesos al año por pérdida de servicios ambientales, recursos naturales y ecosistemas productivos en la zona costera (Vázquez-Navarrete *et al.*, 2010). El delta de los ríos Grijalva y Usumacinta es considerado como uno de los más vulnerables ante el posible aumento del nivel del mar (INE-Semarnat, 2006).

Los cambios en el sistema hidrológico resultarían en una disminución del potencial en la generación de energía hidroeléctrica y el abasto de agua para las actividades agropecuarias y consumo humano. Los escenarios futuros muestran una tendencia hacia un aumento en la probabilidad de eventos extremos de lluvias, aunque existe incertidumbre sobre la frecuencia e intensidad de los huracanes en el Golfo de México y el mar Caribe.

Marco conceptual: adaptación

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de CC (IPCC, 2012), la adaptación se refiere a los procesos de ajuste en los 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. De esta manera, las medidas de adaptación pueden ser un enfoque, un proceso o un plan para atender los efectos anticipados de estrés climático (Smit *et al.*, 1999). La adaptación puede incluir iniciativas o actividades que se realizan para reducir la vulnerabilidad de riesgos existentes o potenciales, y acciones para construir y fortalecer las capacidades adaptativas de individuos o grupos (Adger *et al.*, 2005).

Para una población, la adaptación implica aprender de las experiencias pasadas que han funcionado o no para enfrentar riesgos en circunstancias parecidas (Engle, 2011). Se considera que las medidas de adaptación que usa la sociedad parten del impacto del medio, de manera inversamente proporcional a la complejidad tecnológica que usa la sociedad para modificar el medio (Moran, 2008, Adger *et al.*, 2005). Así, la adaptación es un fenómeno social con implicaciones en todos los ámbitos de la vida cotidiana actual y futura del ser humano, y forma parte de los procesos culturales, políticos y socioeconómicos. En la adaptación, la tecnología modifica el ambiente, pero es en el ámbito social donde se gestan las herramientas y la identificación de asuntos ambientales que tienden a modificarse.

En un contexto local o regional, las medidas de adaptación tienden a disminuir el impacto del medio sobre el comportamiento social a través de respuestas de complejidad tecnológica creciente (Moran, 2008). Por ello, se considera que las capacidades de adaptación pueden ser construidas cuando son casi inexistentes, o bien fortalecidas, cuando existen conocimientos, experiencias

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

y capacidades en función de crear o preparar una respuesta tecnológica a un fenómeno climático determinado. En esta respuesta, los grupos sociales pueden anticipar escenarios futuros y plantear acciones coherentes y necesarias para adaptarse de la mejor manera (Engle, 2011). Las medidas de adaptación ante esos cambios y escenarios futuros no son tecnologías en el sentido material, sino que incluyen procesos organizados de mejora en muchos aspectos de la vida de los lugareños de una región. Esos cambios son graduales y pueden llevar décadas. Sin embargo, ante fenómenos catastróficos recurrentes, como las inundaciones en Tabasco, también se requieren ajustes más inmediatos.

La adaptación es un tema relativamente poco estudiado, pero muy relevante en los procesos de planificación de los gobiernos y otros sectores (Berkes y Jolly, 2001). Existen iniciativas que incluyen, mayormente, una perspectiva gubernamental “desde arriba” sobre los temas en las agendas de los tres niveles de gobierno. En este sentido, México ha avanzado en la planificación de estrategias de reducción de vulnerabilidad en un marco de gestión integral de riesgo ante el CC (Semarnat, 2012). Los gobiernos federal y de Tabasco cuentan con programas y estrategias generales de adaptación y mitigación (p. ej. Sernapam, 2011). A escala municipal, es menos común contar con estos instrumentos de política pública como los Pacmun. Mucho menos frecuentes son los instrumentos que consideren las preocupaciones y contextos de otros sectores de la sociedad.

Considerando que la construcción de medidas de adaptación es fundamental para fortalecer las capacidades de gestión, se definen dos tipos de medidas de adaptación: preventivas y correctivas. Las medidas preventivas son aquellas que permiten a las personas anticiparse, prepararse y se establecen en el imaginario de las personas, desde la experiencia presente, para responder a escenarios futuros (Engle, 2011). Por otro lado, las medidas

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

correctivas son respuestas de las personas ante la experiencia presente; son ajustes ante problemas reconocidos (Engle, 2011).

Con estos enfoques conceptuales se diseñó y participó en un proceso de planificación participativa para elaborar programas piloto de adaptación al CC en el contexto de los municipios de Tabasco. Se realizaron talleres en cuatro subregiones del estado: Ríos, Sierra, Pantanos y Chontalpa. En este capítulo, sólo se describen los resultados del diagnóstico de la subregión Pantanos debido a su relevancia para la cuenca del río Usumacinta.

Metodología

La planificación combinó el uso de métodos y herramientas participativas propuestas por Chambers (1983) y Durham *et al.*, (2014), combinando el análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) (Casas Bernard, 2014) y el marco lógico de planificación (ILPES, 2004). Estas metodologías se adaptaron para caracterizar la postura de representantes de varios sectores de la población con respecto a la percepción de su realidad, vulnerabilidad y capacidades propias, referentes a las problemáticas de su comunidad y fenómenos climáticos que han enfrentado recurrentemente. Se identificaron las áreas potenciales de acción, además de promover la generación de capacidades comunitarias de comunicación y solidaridad. Estos aspectos son clave en procesos de impulso a la autogestión pues, desde el contacto inicial, se está promoviendo la participación comunitaria solidaria por medio de herramientas dinámicas que permiten la discusión y aprendizaje colectivo (Casas Bernard, 2014).

La metodología participativa empleada se fundamenta en la aplicación de talleres regionales, con la hipótesis de que la participación comunitaria es un proceso constructivo que implica el encuentro de personas para el desarrollo de habilidades que

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

puedan enriquecer su vida cotidiana, actual y futura (Casas Bernard, 2014). Para el taller se escogió un espacio para la reflexión común, donde cada individuo (mujeres y hombres) aportó su conocimiento, experiencia y capacidad para desarrollar nuevas habilidades y estrategias en su adaptación ante el CC. El taller de la subregión Pantanos se realizó en la comunidad de Frontera, en noviembre de 2014. Los objetivos del taller fueron: 1) identificar y discutir las perspectivas sobre los aspectos de vulnerabilidad en los municipios, 2) identificar las capacidades institucionales y locales de respuesta, 3) proponer acciones de adaptación al CC sobre sectores productivos (p. ej. agropecuario y pesquero) y civil, y 4) integrar las acciones en un programa piloto de adaptación para la subregión.

En el taller se fomentaron los diálogos abiertos, plurales e incluyentes. Esto se logró mediante diversas dinámicas de facilitación para el intercambio de saberes y experiencias, construyendo la discusión a partir de:

- a) imaginar escenarios futuros de los modos de vida en las comunidades rurales ante el CC, considerando los escenarios técnicos anticipados en escalas geográficas local, municipal y regional, y a una escala de tiempo de cincuenta años;
- b) visualizar en mapas los escenarios y contextos de actuación que requieren atender problemáticas regionales similares, y coordinar las iniciativas de forma transversal entre los diferentes sectores productivos y de forma vertical entre los tres niveles de gobierno, así como con la sociedad;
- c) repensar las necesidades y modos tradicionales de gestión, analizando las capacidades locales de respuesta (capital social) en términos de una actuación cívica individual, así como grupal organizada y solidaria;

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- d) discutir compromisos de actuación compartida con todos los actores sociales y, con base en esto, proponer medidas de adaptación (llamadas también acciones de gestión locales),
- e) plantear un monitoreo participativo permanente de la implementación de las medidas de adaptación propuestas que ayuden a determinar avances y adecuaciones en términos de capacidades locales fortalecidas, e ir revisando las necesidades de ajustes estratégicos a mediano y largo plazos.

Para organizar la convocatoria a los talleres se elaboró un directorio de los actores más relevantes de cada municipio; esto con ayuda de las autoridades municipales y representantes de gremios sociales. Siguiendo la técnica “bola de nieve”, se identificó una lista de los posibles invitados para los talleres y, posteriormente, se fueron incorporando nuevos contactos, conformando así una red de actores. En el taller de la subregión hubo una participación de 57 asistentes. Los grupos representados en el taller fueron: estudiantes de secundaria y bachillerato, profesores de educación formal, representantes de cooperativas pesqueras, amas de casa, agricultores y ganaderos, y representantes de las direcciones municipales, del sistema de protección civil y de la Secretaría de Protección Ambiental del Estado de Tabasco, entre otros (cuadro 1).

Durante los primeros noventa minutos del taller se realizaron actividades de aprendizaje. En esta primera sección se expuso información técnica sobre el CC y aspectos geográficos del estado de Tabasco. Para reforzar la asimilación de la información se diseñó el juego didáctico *Serpientes y escaleras* gigante, impreso en lona (figura 1). Este juego sirvió para explicar a los asistentes las relaciones causales “negativas” entre las acciones de deterioro

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

ambiental e impactos del clima y las consecuencias dañinas a los pobladores (serpientes). También, se establecieron relaciones causales “positivas” entre las medidas de adaptación y la reducción

Cuadro 1. Participación de los actores institucionales y sociales de la subregión Pantanos, en el *Taller de adaptación al cambio climático*.

Actores e instituciones sociales	
Federales e internacionales	
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	
Estatales	
Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental	Instituto Superior Tecnológico de Centla
Municipales	
Delegados municipales	Protección Ambiental de Centla
Protección Civil Centla	Delegado Colonia Revolución Centla
Protección Ambiental de Jonuta	Protección Ambiental de Macuspana
H. Ayuntamiento de Macuspana	Delegado Las Palmas
Desarrollo de Jonuta	Delegado El Faisán
Protección Civil Región Costa Comalcalco	Delegada de Centros Integrados de Quintín Araúz
Sociedades Cooperativas Pesqueras Colonia Revolución	Ejido La Sabana
Ejido El Palmar	Tembladeras
Ejido Chichicastle	Ejido Tres Brazos
Coordinación de líderes zona ríos r/a Chichicastle	Población Quintín Arauz
Ejido Carlos Roviroa, 1ª sección	Colonia Nueva Esperanza de Quintín Arauz
R/a Chichicastle, 1ª sección	R/a Rivera Alta 2ª Salsipuedes
Comité de base Ejido Rivera Alta Salsipuedes	Ejido La Estrella
	Delegado Colonia Barra de San Pedro

Fuente: elaboración propia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

de vulnerabilidad y prevención de impactos (escaleras). Este juego se acompañó de folletos explicativos diseñados expresamente para cumplir los objetivos del taller.

Inmediatamente después, se iniciaron las actividades del diagnóstico participativo y planificación, donde se obtuvieron los insumos de información para la elaboración del programa piloto. Esta segunda parte del taller comprendió, aproximadamente, 210 minutos.

Figura 1. El juego *Serpientes y escaleras del cambio climático*. Diseño: M. Aldasoro, Ecosur.



Fuente: elaboración propia.

Análisis de vulnerabilidad y problemáticas de la subregión Pantanos

En este componente partimos del reconocimiento de la vulnerabilidad en la que se encuentran los municipios de Tabasco. Para esto hicimos un análisis de contenido de los Planes Municipales de Protección Civil de la Subregión Pantanos, como ejercicio previo para conocer las problemáticas locales y

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

el contexto de trabajo. A partir de ese análisis, se imprimieron iconos pequeños en papel que representaron 31 problemáticas comunes para las subregiones (figura 2).

Herramientas espaciales para la planificación de la adaptación

Dado que los esfuerzos de planificación para la adaptación requieren una consideración explícita de las condiciones fisiográficas y socioeconómicas a escala local, las herramientas espaciales son medios muy útiles para estos propósitos. Las bondades de estas herramientas incluyen un entendimiento de la distribución espacial de los elementos ambientales y socioeconómicos del paisaje (p. ej. áreas habitadas o sitios de importancia cultural), y los procesos que amenazan su persistencia actual y futura (Adams *et al.*, 2017). Dada la inherente naturaleza espacial de la adaptación climática, el enfoque de planificación espacial es necesario para definir prioridades de acción en los territorios, a diferentes escalas, de los ámbitos global al nacional, y del regional al local. Este enfoque multinivel también permite a los diferentes actores manejar información útil para guiar sus decisiones y acciones (Adams *et al.*, 2017). En este mismo sentido, la implementación de políticas climáticas multinivel de gobierno requiere de un análisis de los sistemas de gobernanza y las capacidades locales de gestión.

Complementariamente, se usó la cartografía participativa, ya que es una herramienta cuyo objetivo principal es la participación de la ciudadanía en un análisis espacial de su realidad y entorno (Braceras, 2012; Subires-Mancera, 2012). Su uso ha sido valioso porque resalta la apropiación o interpretación de ciertos elementos fisiográficos y fenómenos en territorios que delimitan las personas. Además, su uso ha evolucionado conforme avanza también la tecnología, principalmente con el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) (Valderrama-Hernández, 2013). Se utilizó la cartografía participativa para incorporar un análisis

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

situacional y elaborar mapas de las zonas más vulnerables del estado.

Figura 2. Ejemplos de iconos utilizados en la elaboración de los mapas participativos.



Fuente: elaboración propia.

Con la participación de los asistentes, se hicieron cuatro equipos de trabajo con sus respectivas mesas. En cada mesa se colocó un mapa impreso en papel bond, escala 1:50 000, correspondiente a la subregión, con división política municipal, carreteras, localidades, cuerpos de agua y otros atributos geográficos destacables. Se le pidió a los participantes que ubicaran los riesgos o problemáticas principales de su municipio o localidad.

El uso de los 31 iconos prediseñados facilitó el posicionamiento explícito y espacial de las problemáticas locales. Aquellas problemáticas no consideradas en los iconos se agregaron a los mapas en pequeños recortes de papel de colores. Al final del

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

ejercicio se facilitaron discusiones, tanto en cada mesa como en el pleno del taller, para analizar las problemáticas muy focalizadas en una comunidad en particular y la prevalencia de problemáticas comunes entre municipios. Para concluir esta sección, se identificaron las cinco problemáticas más importantes, con base en una votación numérica entre los miembros de cada mesa.

Análisis FODA

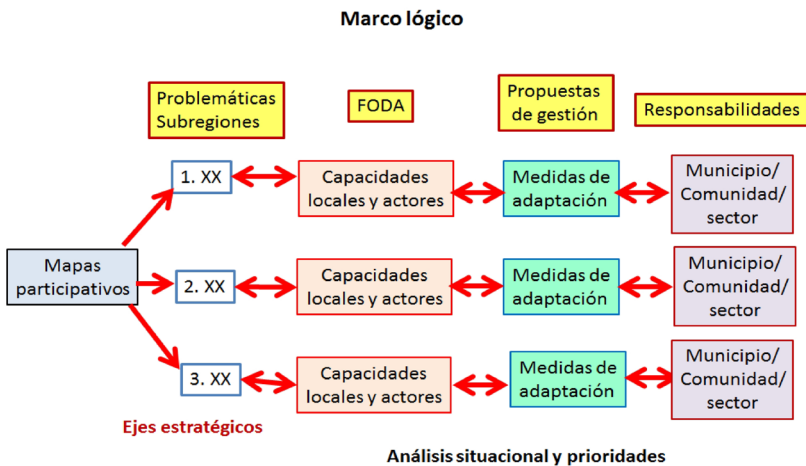
Se empleó este análisis con el objetivo de realizar una evaluación de las vulnerabilidades de cada subregión y comparar las capacidades de respuestas locales. Las ventajas de trabajar con el método FODA en talleres participativos es que motiva a los grupos a discutir sobre las diversas problemáticas que afectan sus regiones, planteando acciones que resuelvan los problemas e identificando a las personas o instituciones aptas para responsabilizarse en cada una de las estrategias o actividades formuladas (Casas Bernard, 2014). Asimismo, evalúa deficiencias y las utiliza como posibilidades de mejora y fortalecimiento institucional. El FODA plantea reforzar la legitimidad del proceso de planificación y la incorporación de distintos actores, tanto a escalas local y comunitaria, como en los diferentes ámbitos de gobierno.

El análisis FODA se trabajó en cada mesa utilizando matrices previamente dibujadas sobre pliegos de papel. Los resultados se presentaron al pleno, lo que permitió conocer, discutir y comparar los temas expuestos y las propuestas. Luego, ya construidos los mapas de problemáticas y vulnerabilidad en cada mesa, y el análisis FODA, en una sesión plenaria se analizaron las capacidades locales para dar respuesta a los impactos potenciales del CC. Posteriormente, en un ejercicio con matrices del marco lógico, se escribieron las problemáticas principales. El marco lógico ayuda a explicar las relaciones causales entre las problemáticas

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

identificadas y las propuestas de solución (figura 3). En este caso, se invitó a los participantes para que postularan acciones de respuesta a las problemáticas y vulnerabilidades, analizando además las capacidades de respuesta y adaptación. Las propuestas fueron recogidas mediante las preguntas ¿qué se va a hacer?, ¿cómo se va a hacer? (para establecer las medidas preventivas y correctivas para la adaptación) y ¿quién las va a hacer? (para definir las responsabilidades de la gestión de las medidas de adaptación). Se planteó que los temas propuestos en las medidas de adaptación estuvieran relacionados con: a) mantener ecosistemas resilientes y funcionales, b) mantener actividades productivas sustentables y recursos naturales fundamentales, c) prevenir respuestas humanas adversas o mala adaptación, d) prevenir nuevas amenazas a la biodiversidad y a los ecosistemas, e) prevenir impactos de amenazas actuales que puedan exacerbarse con el CC, y f) aumentar la resiliencia de las poblaciones humanas.

Figura 3. Marco lógico de planificación para la integración de medidas de adaptación.



Fuente: elaboración propia.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

Como trabajo de gabinete complementario se integró la información de los mapas y matrices del taller a archivos digitales de texto y en SIG. Se identificaron los sectores más vulnerables de la subregión. Para esto, se analizó la información publicada en documentos oficiales, técnicos y planes de protección civil municipales. Entre los temas discutidos destacaron: 1) Riesgo y vulnerabilidad social ante desastres (p. ej. inundaciones y deslaves), 2) Protección civil (p. ej. acciones de prevención ante contingencias), 3) Protección y gestión ambiental (p. ej. manejo de residuos sólidos y contaminación por hidrocarburos), 4) Sectores productivos primarios (p. ej. afectación de inundaciones en cultivos), 5) Planeación y articulación con los programas municipales (p. ej. articulación de dependencias de gobierno), y 6) Capacidades locales (p. ej. capacitación sobre varios temas a adultos y niños de edad escolar).

Resultados

Vulnerabilidad en el contexto de la subregión Pantanos

Los municipios que integran la subregión Pantanos son mayoritariamente amenazados por las contingencias naturales. La situación geográfica de la subregión implica que los municipios constantemente se vean afectados por la ocurrencia de desastres de origen natural, sobre todo de tipo meteorológico como tormentas, ciclones e inundaciones. Sin embargo, a pesar de que estos se presentan con mayor frecuencia, los efectos asociados a periodos de sequía suelen ser más devastadores en pérdidas económicas, dependiendo desde luego de la magnitud con que presentan.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

La vulnerabilidad de la subregión Pantanos se relaciona con el contexto socioeconómico. Esta región muestra el menor desarrollo industrial de Tabasco. Tiene grandes extensiones dedicadas a la ganadería extensiva, a la agricultura y a la actividad pesquera. La región tiene el número mayor de localidades con más altos índices de marginación (Coneval, 2012). El gobierno estatal ha implementado programas de desarrollo rural, mecanización agrícola y programas de fomento a la ganadería. Los cultivos más importantes son: sandía, caña de azúcar, melón, chile, sorgo y arroz. La pesca es la actividad primaria más desarrollada, ya que en esta región se localiza el puerto Frontera, principal puerto pesquero del estado.

El municipio más industrializado de la subregión es Macuspana; las compañías más importantes son: el Complejo Procesador de Gas de Ciudad Pemex, y una planta productora de cemento. Estas empresas brindan empleo a un porcentaje pequeño de trabajadores inscritos en el sector formal de la economía, lo que contrasta con el porcentaje mayor dedicado al sector agrícola, generalmente informal.

En la subregión Pantanos se encuentra la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, administrada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En esta reserva, aunque contiene un acervo importante de recursos biológicos con enorme potencial de servicios ambientales, sufre una confrontación entre las normas de manejo territorial, la conservación de la naturaleza y los intereses de otras dependencias gubernamentales para expandir la producción agrícola, ganadera y la extracción petrolera. Esto causa una explotación no sustentable de los recursos naturales, como efecto de políticas públicas contradictorias que alientan la transformación de selvas y humedales en zonas ganaderas y agrícolas.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

Treinta y un problemáticas locales fueron identificadas en los tres municipios de la subregión (cuadro 2). Esta información fue originalmente obtenida de los planes de protección civil municipales y posteriormente validada en el taller mediante los mapas participativos. El municipio de Jonuta destacó por un número mayor de problemáticas señaladas. En este análisis, las amenazas de inundación, lluvias fuertes y contaminación de Petróleos Mexicanos (Pemex) fueron las prevalentes en los tres municipios de la subregión.

Las lluvias fuertes e inundaciones asociadas son un factor de riesgo en la subregión, ya que generan el desbordamiento de ríos y estancamiento del agua en las zonas inundables, por varias semanas. Esto ocasiona la pérdida de cultivos en las comunidades rurales. Por otro lado, las actividades de exploración de Pemex, como la explotación de nuevos pozos de gas, es una actividad muy peligrosa que causa la pérdida de vidas humanas de forma frecuente. Estas actividades, junto con los efectos contaminantes en el agua, suelo y atmosfera, contribuyen a la vulnerabilidad de la subregión.

Cartografía participativa

La cartografía participativa y el uso de los iconos ayudaron a los actores a posicionar las problemáticas sobre sus territorios, reconociendo su entorno y la geografía de sus municipios. Los elementos distintivos geográficos de los municipios ayudaron a los participantes a reconocer los sitios donde se encuentran sus hogares, lugares de trabajo y las áreas de riesgos (figura 4). Un ejemplo de los mapas participativos, ya incorporados al SIG, se muestra en la figura 5.

**La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático**

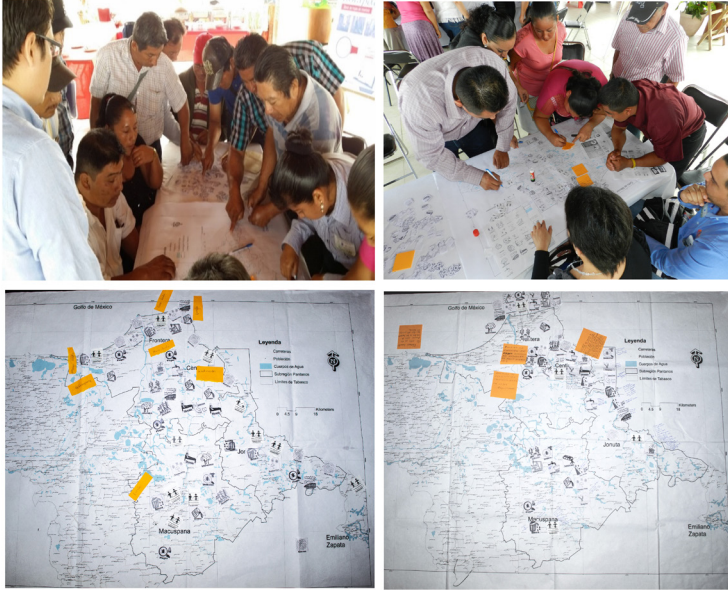
Cuadro 2. Análisis de las problemáticas locales en los municipios de la subregión Pantanos, Tabasco, México.

Riesgos y amenazas	Centla	Jonuta	Macuspana
Inundación	X	X	X
Lluvias fuertes	X	X	X
Contaminación de Pemex (agua, suelo y aire)	X	X	X
Huracanes y ciclones	X	X	
Frentes fríos	X	X	
Vientos fuertes		X	X
Deslaves y derrumbes		X	X
Sismos		X	
Vulcanismo		X	
Sequías	X	X	
Incendios	X	X	
Deforestación	X	X	
Plagas de la milpa		X	
Enfermedades humanas		X	
Enfermedades y plagas del ganado	X	X	
Basura	X	X	
Aislamiento por daños a carreteras			X
Inseguridad (crimen)		X	
Falta de energía eléctrica		X	
Falta de agua potable	X	X	
Erosión	X	X	
Sedimentación y azolve de ríos	X	X	
Mala planificación espacial de los ríos	X		
Mal manejo de presas	X		
Falta de drenaje	X	X	
Fugas de hidrocarburos		X	X
Explosión por hidrocarburos		X	
Derrame de materiales peligrosos		X	X
Emisiones a la atmósfera	X		
Picaduras de abejas		X	
Invasión del pez diablo		X	

Fuente: Elaboración propia con base en los diagnósticos municipales de Protección Civil del Estado de Tabasco.

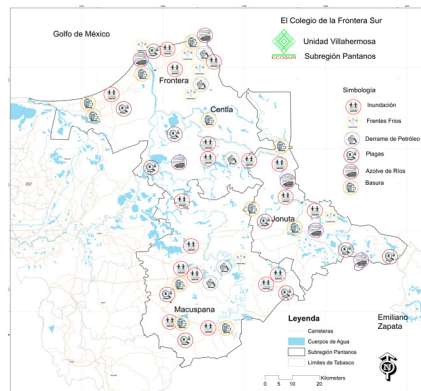
Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

Figura 4. Elaboración de cartografía participativa en la subregión Pantanos, Tabasco.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Mapa participativo de las problemáticas a escala de subregión Pantanos.



Fuente: Elaboración propia.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Análisis FODA

El análisis permitió diagnosticar la situación de la subregión Pantanos, así como su evaluación externa; es decir, sus amenazas y oportunidades (cuadro 3). Es una herramienta que facilitó obtener una perspectiva amplia de la situación estratégica de los actores que habitan en la subregión. Proveyó del insumo para identificar las capacidades locales de gestión que, a su vez, indican las capacidades existentes y las que requieren mejorarse para lograr la adaptación. A partir de este ejercicio, se destaca que la población percibe ciertos beneficios de las inundaciones y que existen capacidades a escala de la comunidad para enfrentar los riesgos recurrentes.

Entre las fortalezas que señalaron los participantes se destacan la capacidad de organización y la solidaridad de sus comunidades, aunado al conocimiento de los lugares altos para resguardarse y saber nadar. Otro aspecto identificado como una fortaleza es que cuentan con medios de información previa a los eventos de desastres y la coordinación con el sistema de protección civil. Contrariamente, una de las debilidades señaladas es la falta de una cultura de la prevención. Esto resalta la importancia de estos ejercicios de planificación para la adaptación al cambio climático

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

Cuadro 3. Ejemplo de análisis FODA de acciones de adaptación al cambio climático recogidas de la subregión Pantanos (Centla, Jonuta y Macuspana).

Subregión Pantanos (Centla, Jonuta y Macuspana)				
Problemática	Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
1. Inundación	Comunidades organizadas.	Beneficia a la pesca.	No hay medios de comunicación.	Mal manejo de las presas hidroeléctricas.
	Solidaridad.	Hay una zona naval.	Falta de lineamientos del orden territorial.	Afecta la ganadería y agricultura.
	Ordenamiento territorial.	Unidad de Protección Civil.	No hay cultura de prevención.	Falta de empleo.
	Disponibilidad de trabajo.	El gobierno nos toma en cuenta.	Azolve de los ríos.	Falta de agua potable.
	La mayoría de la gente sabe nadar.	Las lluvias benefician el campo.	Falta de lanchas, cayucos y motores	Inseguridad.
	Suficiente información previa.	Asistencia técnica (CEAS y Secretaría de Salud).	Falta de refugios temporales.	Pérdida de ganado y animales de traspatio.
	Conocen los lugares altos.	Abrir drenes.	Manejo inadecuado de la basura.	Plagas, enfermedades y pobreza.
	Enlace y comunicación con Protección Civil.	Abono de tierra, mejora de fertilidad.	Falta de atlas de riesgo.	Afectación en la vivienda.
	Asegurar la vivienda.	Beneficio de pastizales.		Falta de comunicación terrestre.

Fuente: elaboración propia.

Medidas de adaptación

Los actores propusieron una serie de recomendaciones sobre las medidas de adaptación al CC. En el cuadro 4 se ejemplifica un ejercicio para el tema de la inundación, señalado con alta prioridad y con prevalencia en los tres municipios. Los participantes clasificaron las acciones siguiendo la clasificación de Engle (2011) en medidas de adaptación preventivas y correctivas.

El conjunto de adaptaciones, en algunas iniciativas gubernamentales, está relacionado con la construcción de infraestructura para enfrentar desastres ante fenómenos naturales, como por ejemplo, la construcción de escolleras o bordos en los ríos. Sin embargo, las adaptaciones también deben ir en el sentido de fortalecer el capital social existente en las comunidades. En este rubro, fue evidente en el taller que los participantes perciben el valor de su conocimiento para enfrentar los fenómenos meteorológicos. Existe un conocimiento tradicional y experiencias muy valiosas sobre cómo afrontar los desastres naturales, en el contexto de las inundaciones periódicas pasadas en Tabasco. Hace falta reforzar estos procesos de diálogo sobre cómo enfrentar o revertir estos eventos, no sólo en lo individual, sino también en lo colectivo.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

Cuadro 4. Ejemplo de las propuestas de medidas de adaptación al cambio climático recogidas de la subregión Pantanos (municipios de Centla, Jonuta y Macuspana), Tabasco.

Acciones de adaptación al cambio climático			
Problemática	Preventivas	Correctivas	Actores
Inundación Prioridad 1	No construir en lugares de alto riesgo; establecer refugios temporales.	Dejar zonas de riego, áreas destinadas a refugios /carpas grandes.	Gobierno, nosotros/ comunidad.
	Manejo adecuado de residuos.		Habitantes que viven en la orilla de los ríos Grijalva y Usumacinta, los más afectados.
	Dragado y desazolve de los ríos principales.		Conagua, P.C. municipal y estado.
	Capacitación constante a la ciudadanía en general.	Muros de contención.	Protección Civil.
	Construcción de palafitos a los habitantes que habitan en zonas de inundación.		Los ciudadanos. Sernapam.
	Simulacros de evacuación de las zonas de riesgo.	Limpieza de canales y desazolve.	Ayuntamientos.
	Estar alerta a las noticias cuando hay mal tiempo.		Habitantes mano de obra y apoyo del gobierno federal.
	Concientización a la ciudadanía de no tirar basura.	Riberas limeras	
	Construcción de terraplenes		

Fuente: elaboración propia.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

También se requiere la capacitación y el fomento de procesos educativos que fortalezcan a las comunidades en la gestión de las medidas de adaptación al cambio climático.

En este sentido, observamos un balance en las medidas propuestas, tanto para fortalecer la infraestructura como para fortalecer el capital social y las capacidades de gestión. Por esto, son importantes estos procesos de planificación participativa, para lograr un balance entre las propuestas gubernamentales con la visión “desde arriba” con las visiones “desde abajo”, que permiten identificar las preocupaciones de los actores locales y sus capacidades para responder a los eventos que se anticipan con el CC (Few *et al.*, 2007).

Al analizar las medidas de adaptación propuestas en el taller (89) para todas las problemáticas, se observó la existencia de un número mayor de medidas correctivas (55), que las preventivas (34). Esto puede significar que existe una propensión en las personas a ajustarse o responder a condiciones actuales del medio, más que a establecer acciones de preparación o anticipación ante escenarios futuros (Engle, 2011). Sin embargo, ante la problemática más destacada (inundaciones) no se siguió ese patrón, por lo que se cuestiona si en realidad no existen o se carece de capacidades locales de gestión (Jones *et al.*, 2010) o si, por el contrario, las capacidades locales son sobrerrepresentadas por los participantes del taller.

Otro aspecto que se destacó en las discusiones del taller fue la implementación de las medidas de adaptación, que necesita la coordinación de funcionarios públicos de los tres niveles de gobierno, con representantes de la sociedad civil y sectores productivos desde el momento de diseñar estrategias, así como asignar presupuesto para ello. Por tal motivo, se considera necesaria

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

la construcción de articulaciones entre distintas organizaciones que se encuentran trabajando en la temática de adaptación al CC, como el DIF y centros de educación e investigación estatales, y organizaciones internacionales, tales como la Cruz Roja y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

En la planificación territorial de la adaptación, la gestión de cuencas hidrológicas también es un enfoque que se ha sumado a los esfuerzos de la región, y que ha sumado sinergias de los tres niveles de gobierno y otros sectores a través de los consejos de cuencas (Rodríguez Herrero *et al.*, 2009). Aquí, cabe destacar el potencial hidrológico de la cuenca del río Usumacinta, una de las más grandes del país, que tiene además una relevancia estratégica en el tema del CC por el acervo de agua dulce, el potencial para generar energías sustentables y porque mantiene sistemas altamente productivos para el abasto de alimentos del país.

Conclusiones

Los diagnósticos participativos permitieron obtener información muy valiosa, actualizada y enraizada en el contexto local, la cual pocas veces se considera en la construcción de procesos de planificación y gestión. Esta información puede servir de insumo técnico para la preparación de los programas piloto de adaptación, que eventualmente vendrán a ser instrumentos de política pública que guiarán la toma de decisiones para los gobiernos municipales y del estado.

A partir de estos diagnósticos se identificó una lista de 31 problemáticas en la subregión, que se agravarán en los escenarios de CC. Se observó la vulnerabilidad de los casos en Centla, Jonuta y Macuspana. Ante esta complejidad, se vislumbran mayores necesidades en recursos y capacidades locales para implementar

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

las medidas de adaptación planteadas. También, se discutió la necesidad de repensar las actitudes de paternalismo a las que está acostumbrado un amplio sector de la población, que reciben fondos económicos de ayuda para desastres, en vez de buscar estrategias de autogestión y de prevención a largo plazo. Ante esto, se propusieron mecanismos de gestión compartida para que los diferentes sectores de la sociedad participen más activamente en lo individual y lo colectivo. Se requiere, de igual manera, brindar mayor capacitación a la población sobre los temas de CC y los posibles impactos sobre la vida cotidiana. Estos temas pueden ser cubiertos por la educación formal del sector educativo, comprendiendo las escuelas de nivel básico. De manera complementaria, se pueden diseñar programas de educación no formal y capacitaciones para otros ámbitos.

El aporte medular de la presente propuesta metodológica es la inclusión social en la planificación. Este planteamiento permitió recuperar el conocimiento local sobre el área de estudio e incluir la percepción social sobre la problemática climática, así como involucrar a la gente en los procesos de gestión. Durante el taller, los participantes solicitaron retroalimentación, pues hicieron la solicitud de conocer los resultados de sus aportes en el diseño de las estrategias. Esta apropiación social del proceso es lo que distingue al proyecto de esfuerzos previos con el enfoque “desde arriba”, pues de esta forma se favorecen los procesos de planificación de mediano y largo plazos. Además, los planteamientos desde la sociedad civil pueden ofrecer ejercicios innovadores de gestión, por lo que es importante conocerlos y compartirlos con los actores que enfrentan problemáticas similares en el estado y en el resto del país. Una sociedad bien informada y organizada será una sociedad que pueda anticipar y actuar de mejor manera ante los posibles efectos negativos del cambio climático.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

Agradecimientos

A la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco, en específico a Lilia M. Gama Campillo, subsecretaria de Fomento a la Política Ambiental y a Luis F. Zamora Cornelio, director de Políticas para el Cambio Climático, por el financiamiento y apoyo logístico para la realización del presente estudio (Proyecto PEF 2014, mediante convenio con Ecosur).

La organización logística fue coordinada por representantes de las direcciones de Protección Ambiental y Protección Civil municipales de Centla. Ana Quezadas y Valeria F. Maurizio, del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, brindaron información valiosa y apoyaron la organización de los talleres. Al C. Ramón A. Rodríguez Laines, director del Instituto Tecnológico Superior de Centla, por facilitarnos las instalaciones. A los asistentes de Ecosur, M. Hernández, S. Garza y M. Pineda, que apoyaron en el trabajo de investigación y revisión del manuscrito.

Material suplementario

El informe del proyecto *Programa de fortalecimiento y capacitación en los municipios en relación a capacidades y acciones de adaptación ante el cambio climático y vulnerabilidad en Tabasco (Proyecto PEF 2014)* y el Programa Piloto de Adaptación ante el Cambio Climático para la Subregión Pantanos, se encuentran disponibles en formato digital en la dirección electrónica: http://www.conservacion-especies.com/pry_prog-cc-tabasco.html

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Bibliografía

- Adams, V. M., Álvarez-Romero, J. G., Capon, S. J., Crowley, G. M., Dale, A. P., Kennard, M. J., Douglas, M. M., & Pressey, R. L. (2017). Making time for space: “The critical role of spatial planning in adapting natural resource management to climate change”, *Environmental Science and Policy* (74), 57-67.
- Adger, W. N., Arnell, N. W. & Tompkins, E. L. (2005). “Successful adaptation to climate change across scales”, *Global Environmental Change* (15), 77-86.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2014). *Plan de Adaptación, Ordenamiento y Manejo Integral de las Cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta. Estudio de prefactibilidad para las opciones de intervención*. Texto completo de acceso libre, URL: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/downloads/InfoPlanEstatal/PAOM_Grijalva-Usumacinta/Volumen2_PAOM_Prefactibilidad.pdf. Consultado 12 junio 2017.
- Berkes, F. & Jolly, D. (2002). “Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian western arctic community”, *Ecology and Society* (5), 1-18.
- Braceras, I. (2012). *Cartografía participativa: herramienta de empoderamiento y participación por el derecho al territorio*. Máster en Desarrollo y Cooperación Internacional. España: Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional, Nazioarteko Lankidetza eta Garapenari Buruzko Ikasketa Institutua, Universidad del País Vasco y Euskal Herriko Unibertsitatea.
- Casas Bernard, C. (2014). *Desarrollo social y comunitario, una nueva profesión*. México: Trillas.
- Cerutti, O. M. (1995). “México y el cambio climático global”. En: Jardón U. (Coord.), *Energía y medio ambiente: una perspectiva económica y social*, 157.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

- Chambers, R. (1983). *Rural development, putting the last first*. Estados Unidos: Routledge.
- Conde, C. (2007). *México y el cambio climático global*, México: Semarnat.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) (2012). *Informe de pobreza en México*, México, DF. Texto completo de acceso libre, URL: http://www.coneval.org.mx/Informes/Pobreza/Informe%20de%20Pobreza%20en%20Mexico%202012/Informe%20de%20pobreza%20en%20M%C3%A9xico%202012_131025.pdf. Última consulta 12 de junio 2017.
- Díaz Perera, M. Á., Marin Olan, P., Ballina, J. L., Capdepon Grande, F. R., Ballona, A. Cabrera (2016). *Diagnóstico y viabilidad económica de actividades productivas en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla: informe técnico final*. Texto completo de acceso libre, URL: <https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.3764490.v1>. Consulta: 26 de agosto de 2016.
- Durham, E., Baker, H., Smith, M., Moore, E. & Morgan, V. (2014). *The BiodivERsA Stakeholder Engagement Handbook*, Francia: BiodivERsA.
- Engle, N. L. (2011). "Adaptive capacity and its assessment". *Global Environmental Change* (21), 647-656.
- Few, R., K., Brown & E. L. Tompkins (2007). "Public participation and climate change adaptation: avoiding the illusion of inclusion". *Climate Policy* (7), 46-59.
- Gobierno del Estado de Tabasco (2013). Plan Estatal de Desarrollo (PLED) 2013-2018 Texto de acceso libre, URL: <http://www.representaciondf.com.mx/plan/pled.pdf>. Consulta: noviembre de 2015.
- Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) (2004). "Metodología del marco lógico", *Boletín del instituto* (15), 1-47.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-Semarnat) (2006). *México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, México: INE-Semarnat, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México, Environmental Protection Agency, Global Environment Facility.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and NY: Cambridge University Press.
- Jones, L., Ludi E. & Levine, S. (2010). "Towards a characterization of adaptive capacity: a framework for analyzing adaptive capacity at the local level", *ODI Background Notes* (December), 1-7.
- Moran, E. F. (2008). *Human adaptability: an introduction to ecological anthropology*, Estados Unidos: Westview Press.
- Petróleos Mexicanos (Pemex) (2014). *Informe Anual*. Texto de acceso libre, URL: http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/informes_art70/2013/Informe_Anual_PEMEX_2013.pdf. Consulta noviembre 2015.
- Rodríguez Herrero, P. H. *et al.*, (2009). "Los consejos de cuenca como mecanismos de gestión hídrica". En: Buenfil Friedman, J. (Ed.) *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México* (pp. 255-271) México: Semarnat-INE.
- Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (Sernapam) (2011). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco, Sernapam. Texto de acceso libre, URL: <https://tabasco>.

Planificación de medidas de adaptación al cambio climático desde la perspectiva local en la subregión de Pantanos, Tabasco, México

gob.mx/sites/default/files/sites/default/files/public_files/programa_estatal_accion_cambio_climatico.pdf. Consulta: noviembre de 2015.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2009). *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*, México: Semarnat.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2012). *México: Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, México, Semarnat/Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Inecc).

Smit B., Burton, I., Klein, R. & Street, R. (1999). "The science of adaptation: a framework for assessment". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (4), 199-213.

Subires-Mancera, M. P. (2012). "Cartografía participativa y web 2.0: estudio de interrelaciones y análisis de experiencias", *Revista de Comunicación*, Vivat Academia (XIV, N° Especial), 201-216.

Valderrama-Hernández, R. (2013). "*Diagnóstico participativo con cartografía social. Innovaciones en metodología Investigación-Acción Participativa (IAP)*", *Revista Andaluza de Ciencias Sociales* (12), 53-65.

Vázquez-Navarrete, C. J., Mata-Zayas, E. E. y Palma-López, D. J. (2010). "Valoración económica de los Servicios Ambientales de los Humedales de la Chontalpa, Tabasco: un enfoque exploratorio a nivel local". En Botello A.V (Ed.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*, Centro Epomex, (vol. 1, pp. 493-508). México: UAM, UNAM, Universidad Autónoma de Campeche.



Presencia indígena,
Chiapas



Fotografía
Internet, imágenes públicas

Apreciación social del cambio climático. Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta

Denise Soares y José Antonio González

Resumen

El cambio climático que como sabemos provoca alteraciones en los sistemas climáticos y ecológicos, acarrea también consecuencias en el ámbito sociocultural y en el económico, al provocar daños en los medios de vida y afectar el sustento de las poblaciones que habitan las distintas cuencas del país. Sin la menor sombra de duda, las personas más vulnerables a estos cambios son las más pobres, por su baja capacidad de resiliencia, al no contar con los medios necesarios para recuperarse de manera satisfactoria. Desde esta perspectiva nos acercamos a la cuenca del río Usumacinta, con el objetivo de observar las condiciones de la población y verificar la percepción que algunos actores sociales, habitantes de las partes alta y baja de la cuenca poseen acerca de los impactos del cambio climático. Los resultados encontrados señalan que, si bien los campesinos, ganaderos y agricultores no conocen bien el término de cambio climático, resienten en su vida cotidiana los impactos derivados de la irregularidad y reducción de las lluvias y el incremento del calor.

Palabras clave: cambio climático, percepciones, población, pobreza.

Introducción

La cuenca del Usumacinta reviste una enorme importancia en nuestra nación por su gran riqueza de recursos naturales, la formidable biodiversidad de especies endémicas que contiene, por el importante volumen de recursos hídricos que aporta a la región, por la gran masa vegetal de bosques y selvas que ahí florece y porque alberga a una considerable población que emplea estos recursos para su sobrevivencia. Por su gran relevancia ecológica y como parte importante en el desarrollo del clima dentro y fuera de nuestro territorio, se constituye no solamente como un patrimonio natural de nuestro país sino de alcance mundial.

Desafortunadamente en la región se muestran por una parte, señales alarmantes de deterioro ambiental debido a la actividad de distintos actores sociales y por la otra, significativos niveles de pobreza en la población, que hace que esta región enfrente grandes desafíos ambientales e importantes retos para la implementación de una política acorde con el desarrollo sostenible de su población, sin menoscabo de la riqueza natural del territorio.

Aunado a lo anterior, el impacto que el cambio climático está teniendo en vastas zonas alrededor del planeta que ha implicado entre otros fenómenos, el agravamiento de las sequías y la consecuente desertificación de suelos, la alteración de los ciclos naturales de los regímenes de lluvia, la mayor frecuencia y mayor intensidad de huracanes que intensifican significativamente la incidencia de lluvias severas e inundaciones, está afectando sin duda a nuestro país y a esta región en particular, por lo que las amenazas tanto para la población como para la flora y la fauna de la región, se multiplican. Existe un consenso en el 97% de los científicos que han estudiado el cambio climático a nivel mundial que señalan que las agudas alteraciones climatológicas se deben a la intensa actividad humana (Cook *et al.*, 2013).

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

De hecho, Wallerstein (2008) plantea que se ha podido verificar que el cambio climático está fuertemente asociado al modelo de crecimiento mundial actual, basado en el uso de energías no renovables y combustibles fósiles (como petróleo y sus derivados, gas y carbón), que implican la emisión de gases de efecto invernadero. El autor añade que tanto el dióxido de carbono, proveniente de las chimeneas de fábricas y de los motores de combustión con los que están dotados la mayoría de los medios de transporte, como el gas metano, que emana en grandes cantidades de los rellenos sanitarios y de la actividad ganadera, son elementos que contribuyen de forma preocupante al cambio climático.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), entre los efectos del cambio climático debido a actividades humanas, están la reducción de la productividad agrícola en las regiones tropicales y subtropicales, la disminución de la cantidad y la calidad del agua en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas, el aumento de ciertas enfermedades como el paludismo, el dengue, la malaria entre otras, y finalmente, efectos adversos en el funcionamiento de los ecosistemas y su biodiversidad. Asimismo, el incremento de temperatura recurrente del cambio climático, resultará en el aumento del nivel del mar, con la muy probable necesidad de desplazamiento de habitantes de zonas costeras. Todo ello traería como consecuencia un incremento de la disparidad entre las regiones más desarrolladas y las de menor desarrollo, la intensificación de los niveles de pobreza y el aumento de la desigualdad social (Sánchez Vargas *et al.*, 2012).

El deterioro socioambiental en la región de la cuenca del río Usumacinta no es ajeno a la intensificación del cambio climático que vemos en el planeta, ambos se entrelazan y se refuerzan mutuamente. Determinar cómo estas alteraciones están afectando

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

a la población que habita la cuenca y comprender como el comportamiento social en la región fomenta a su vez estos cambios, es de la mayor relevancia. Alcanzar un diagnóstico que considere las transformaciones que vienen dándose en un horizonte de tiempo suficientemente largo permitirá definir el escenario en que la población que habita la cuenca se ha visto envuelta y podrá lograrse una visión suficientemente clara para instrumentar políticas sociales en todos los niveles de gobierno y mecanismos comunitarios que atiendan tanto las necesidades crecientes de la población, como el resguardo de la flora y fauna de esta importante región de nuestro país. El trabajo de mucha gente desde la investigación, la docencia, de las comunidades involucradas y algunos actores sociales apuntan en esa dirección. El propósito de este documento es también aportar elementos de análisis para lograr este objetivo.

Hidrología y biodiversidad

El río Usumacinta con sus 800 km. de longitud es considerado el río más largo de Mesoamérica. Nace en la Sierra de los Cuchumatanes en Guatemala y en las montañas de los Altos de Chiapas en México. La cuenca representa la séptima más grande región hidrológica del mundo. Es sin duda la más importante de México con sus 11 550 700 ha. y su carga anual aproximada es de 105 000 000 de metros cúbicos de agua. La parte guatemalteca es la de mayor extensión con un 57.9% y la parte mexicana representa el 42.1% (March, 2010). La parte baja y media de la gran cuenca se ubica mayormente en nuestro país por lo que recibe las aguas después del complejo proceso natural y de actividad humana que se da en Guatemala (De la Maza y Carabias, 2011).

Algunos autores señalan que la importante red hidrológica de la cuenca es el resultado de estar ubicada en una región con los

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica. Desde nuestro concepto tanto la precipitación pluvial como la red hidrológica son el resultado de millones de años de evolución en las que las grandes masas boscosas y selváticas han jugado y juegan un papel primordial y en donde todos los elementos entran en juego para conformar las características peculiares de la región: temperatura-clima-lluvia-masa vegetal han ido generándose-modificándose juntos y se mantienen en una relación simbiótica de larguísimo plazo.

La región es una de las zonas con mayor biodiversidad del mundo, que alberga a la Selva Lacandona, reconocida por concentrar en su seno el más alto grado de biodiversidad en el trópico con una superficie que apenas representa el 0.16% del territorio nacional. En ella habitan 28.4% de las especies de mamíferos, 31.8% de las aves, 11.7% de los reptiles, 8.8% de los anfibios, 14.4% de los peces de agua dulce (Instituto Nacional de Ecología INE, 2000, citado por De la Maza y Carabias, 2011).

No obstante la enorme variedad de su fauna, en la región hay muchas especies declaradas en peligro de extinción, como el jaguar, tapir, puma, ocelote, tigrillo, tucán, pava, cojolite, boa, cocodrilos de pantano y de río, venado cola blanca, temazate, tepezcuintle, el armadillo y el mapache (Arreola *et al.*, 2011), todo debido a la actividad humana relacionada con la caza, la extracción de especies, la pérdida de su hábitat y la competencia con especies introducidas por el ser humano. Aunque no se tiene un inventario sistemático de las especies exóticas invasoras que se han introducido en la cuenca del río Usumacinta, se han registrado ya varias que han causado estragos a la integridad ecológica en distintas zonas. Por ejemplo, la introducción de tilapias en la zona baja del Usumacinta derivó en una fuerte afectación del robalo *Centropomus undecimalis*, una especie anádroma (pez migratorio

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

que vive principalmente en agua salada, pero que se aparea en agua dulce) que penetra al Usumacinta (Rodiles com.pers., citado por March, 2010).

La vegetación presente en la región de la gran cuenca del río Usumacinta es de gran diversidad y comprende amplias zonas de bosque templado, bosque mesófilo de montaña, importantes y vastas zonas de selva tropical húmeda incluida la selva lacandona, la región de pastizales que es selva destruida por políticas públicas que fueron muy intensas a mediados del siglo pasado, y hacia la desembocadura un gran delta con vegetación húmeda y grandes extensiones de lagunas y pantanos (Rodríguez, 2010). La biodiversidad de la vegetación en las zonas altas montañosas es de las más ricas en la región. La selva Lacandona que aún no tenía nombre en 1941, tiene una masa arbórea tan notable, que cuenta con grandes árboles tupidos de hasta 35 mts. de altura. La parte litoral de la cuenca es muy importante pues cuenta con 259 000 ha. de extensión; además de su gran tamaño posee un valor ambiental a nivel nacional por la riqueza de sus humedales, que constituyen la mayor área de hibernación de aves acuáticas del Golfo de México, incluida la cigüeña caribú que es el ave más grande del continente americano. Es en esta extensa área de humedales donde se realiza un gran intercambio energético entre la flora y la fauna (Toledo, 2011).

Contrastando con la enorme riqueza de sus bosques y selvas, México experimenta mayores pérdidas que ganancias en cubierta forestal. En la cuenca, la pérdida de bosques y selvas se debe principalmente a la constante expansión de las poblaciones humanas, a la deforestación por la explotación forestal y a las actividades agropecuarias de las que resaltan la ganadería extensiva y la siembra. En la parte baja en Tabasco, en donde las actividades agropecuarias arrasaron prácticamente con las selvas,

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

esto es evidente, aunado a la actividad petrolera en la zona. Las tasas de deforestación en la cuenca en algunos años han superado las 50 000 ha. anuales (Casillas, 2012).

Existen hasta el momento 22 Áreas Naturales Protegidas en la cuenca, entre parques nacionales, reservas y monumentos naturales. El Alto Grijalva posee nueve áreas, el Bajo Grijalva ocho y el Usumacinta cinco áreas (Toledo, 2011). No obstante que muchas de las áreas protegidas establecidas han logrado frenar los procesos agropecuarios en su interior, continúan las invasiones y los desmontes tal y como ha sucedido en la Reserva de la Biosfera Montes Azules en México y en el Parque Nacional Sierra del Lacandón en Guatemala. A estas causas habrá que sumar la multiplicación de los incendios forestales. En algunas zonas de la cuenca las fuertes tormentas, ciclones y huracanes provocan la acumulación de gran cantidad de material combustible que en las épocas de sequía — las que también se han intensificado por el aumento de temperaturas medias mensuales —, establecen las condiciones para la escalada de incendios forestales que vienen intensificándose desde 1998 y que han afectado importantes superficies de áreas protegidas como en la Reserva de la Biosfera Montes Azules en México (March, 2010).

Los fenómenos hidro-meteorológicos extremos han impactado de manera creciente en la región en las dos últimas décadas que, aunados a la creciente deforestación, colocan a la población en elevados índices de vulnerabilidad, en particular en las partes bajas de la cuenca. Los huracanes Gilbert (1988), Diana (1990), Roxanne (1995), Cesar-Douglas (1996), Mitch (1998), Emily, Stan y Wilma en 2005, impactaron la región dejando miles y miles de damnificados, en algunos casos cientos de muertos y graves daños cuantificados en miles de millones de dólares. En el 2007 el 80% del territorio tabasqueño quedó inundado debido al desbordamiento del río Grijalva y en 2008 el Usumacinta provocó

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

desbordamientos en Balancán-Tenosique en Tabasco. Estos eventos con sus respectivos desastres, han demostrado que no hay una política pública integral que considere la conservación de suelos, del agua y de la cubierta vegetal que son los tres elementos básicos a considerarse para planificar los asentamientos y las políticas de desarrollo (García y Kaufer, 2009).

Un poco de historia

En la aparición de pobladores humanos en la región hay un trasfondo histórico de presencia indígena con antecedentes que datan de aproximadamente tres mil años. Los grupos humanos impulsaron paulatinamente el desarrollo de diversas culturas, entre las que destaca la Olmeca en la región de Tabasco y cuyo florecimiento se dio en La Venta hacia el año 800 a.c. para luego desaparecer 300 años más tarde. En el proceso de nacimiento-crecimiento-desaparición de diversos pueblos de la región, la cultura Maya vino a desenvolverse fuertemente. Floreció hacia el año 300 de nuestra era, con una población numerosa asentada en abundantes poblaciones dispersas, muchas de ellas rodeando importantes centros ceremoniales de los que destacan en la región Palenque y Bonampak como muestra de su grandeza. La significativa presencia indígena y que se ha mantenido hasta nuestros días a pesar de siglos de colonización española y de la presión de otros grupos sociales del México independiente, muestra la enorme fuerza de este pasado luminoso. En la actualidad conviven y compiten en la región diversos grupos étnicos entre los que destacan el chontal, ch'ol, tzeltal, tojolabal, zapoteco, maya, maya lacandón, náhuatl y zoque, sin contar a los numerosos grupos étnicos guatemaltecos. El brillo cultural de estos pueblos que pervive en sus coloridas vestimentas y sus dulces lenguas y dialectos, contrasta con la dura sobrevivencia del día a día a la que se ven impelidos y de las marcas que van

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

dejando siglos de sometimiento. Sus cantos, danzas y expresiones culturales no exaltan su esencia indígena, sino giran alrededor de expresiones religiosas que paradójicamente fueron impuestas por los conquistadores que les sometieron (INE, 2000).

La llegada de los españoles a las costas de Tabasco en 1519 con la exploración iniciada por Juan de Grijalva, marcó el inicio de una tragedia para los pobladores indígenas de la cuenca. En los pantanos de Centla era donde se concentraba gran parte de la población Chontal de aquella época y su población se estimaba en 150 000 habitantes. Después de la conquista que les impuso un régimen de esclavitud y que les provocó graves enfermedades, en un siglo de dominación española su población había descendido a 4 630 habitantes (INE, 2000). El mismo exterminio sufrieron todos los pueblos indígenas de la región que fueron esclavizados por los españoles y cuyas poblaciones fueron mermadas drásticamente. En contraparte, durante la colonia se impulsaron importantes asentamientos poblacionales que fueron concentrando habitantes venidos de España, criollos nacidos en la Colonia y población indígena en sus alrededores, como San Cristóbal de las Casas ubicado hacia el lado oeste de la cuenca y que, sin estar dentro de ella, sirvió de base para subsecuentes incursiones de pobladores hacia Comitán y sus alrededores. Crecieron las encomiendas ganaderas iniciadas por Montejo en 1529 y los indios pasaron a formar parte de ellas como súbditos de los españoles, sin tener derecho a tener ganado y con la obligación de trabajar la tierra y pagar tributo por ello.

Con el inicio de la explotación de caoba, aparecen en 1860 las primeras fincas impulsadas por comerciantes provenientes de Tabasco. En unos cuantos años hubo un crecimiento significativo en la explotación de madera, en la que llegaron a participar importantes compañías que mediante el trabajo prácticamente

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

esclavizado de indios y peones cortaron incontables caobas de enorme valor natural durante los años subsecuentes, hasta que con la Revolución Mexicana se puso fin a la explotación de indios y peones y a la depredación de la selva, con lo que gran parte de las compañías desaparecieron, y ya para 1929 las últimas fincas dejaron de funcionar (De la Maza y Carabias, 2011).

La llegada de nuevos habitantes a la cuenca del Usumacinta obedeció a diferentes causas: acciones gubernamentales para ocupar zonas fronterizas y así supuestamente garantizar la soberanía, por la llegada de refugiados guatemaltecos a raíz del fuerte conflicto político social que se dio en el vecino país, por efecto de la migración tanto del lado chiapaneco por el oeste de la cuenca, como por Tabasco desde el norte. La llegada de nuevos pobladores no implicó un florecimiento social en la cuenca, por el contrario, los diversos diagnósticos socio-económicos que se han realizado en la cuenca del Usumacinta mencionan que la población que habita dentro de la cuenca se encuentra dentro de los niveles de marginación más elevados de México y Guatemala. La producción agrícola se distingue por su alto impacto al medio ambiente y su pobre rendimiento. Domina la agricultura de roza-tumba y quema, lo que afecta fuertemente al entorno. Se utilizan en el proceso gran cantidad de agroquímicos y por supuesto de pesticidas, que afectan tanto a los suelos como a los mismos productos que se obtienen como el maíz, la calabaza, el chile o el frijol. El uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas afectan la química del suelo que pierde humus y provoca también la desaparición de hongos y plantas favorecedoras para el suelo. La no sustentabilidad domina en los procesos productivos agroalimentarios. En distintas zonas de la Selva Lacandona y en las zonas bajas de Tabasco, es la ganadería extensiva la que domina los paisajes productivos (Cabrera y Cuc, 2002; March, 2010).

Variables socioeconómicas en la cuenca

La primera variable a definir es el número total de habitantes en la cuenca, pues son los habitantes quienes imprimen el dinamismo socioeconómico. Para determinar de manera precisa el número de habitantes que habita la cuenca se requeriría de información censal detallada por localidades, cruzada con información geográfica que detalle la participación de los asentamientos dentro de los límites geográficos de la misma. Al no contar con esta información detallada, hemos estimado el número de habitantes en función de la proporción territorial de cada municipio en ella, considerando además si las cabeceras municipales que normalmente aglutinan a la mayor parte de la población dentro de los municipios, se encuentra dentro o fuera de la misma. El cuadro que sigue muestra la proporción estimada de población que habita en cada municipio y la población estimada que participa en la cuenca; los datos corresponden al Censo de Población del 2010. Se muestra también la composición de la población en relación al sexo y el Índice de Masculinidad¹, pues ello nos aporta datos interesantes sobre la migración masculina en la zona. Los municipios están ordenados de mayor a menor de acuerdo a la población que habita en la cuenca en cada piso altitudinal.

Es interesante resaltar que el número de municipios que participan en la cuenca y en los que su cabecera municipal se encuentra fuera de ella son nueve en Chiapas, dos en Tabasco, y los tres municipios de Campeche. En total son catorce municipios, que representan casi la mitad de los 30 municipios que participan en la cuenca. Esto tiene implicaciones socioeconómicas importantes para los habitantes de la cuenca, pues los alcances de las políticas municipales en el contexto histórico de centralismo político que

1 Es la relación entre el número de hombres y de mujeres en una población. Se expresa como el número de hombres por cada 100 mujeres.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Cuadro 1. Población en la cuenca.

ESTADO	MUNICIPIO	POB	Pob H	Pob M	%	Cabe cera	Tot	H	M	Ind M
Chiapas	Margaritas, Las	111 484	54 787	56 697	100%	Con	111 484	54 787	56 697	96.6
Chiapas	Independencia, La	41 266	20 256	21 010	100%	Con	41 266	20 256	21 010	96.4
Chiapas	Huixtán	21 507	10 599	10 908	100%	Con	21 507	10 599	10 908	97.2
Chiapas	San Cristóbal de las Casas	185 917	88 996	96 921	10%	Sin	18 592	8 900	9 692	91.8
Chiapas	Oxchuc	43 350	21 844	21 506	40%	Sin	17 340	8 738	8 602	101.6
Chiapas	Comitán de Domínguez	141 013	67 691	73 322	10%	Sin	14 101	6 769	7 332	92.3
Chiapas	Chanal	10 817	5 376	5 441	90%	Con	9 735	4 838	4 897	98.8
Chiapas	Trinitaria, La	72 769	35 593	37 176	10%	Sin	7 277	3 559	3 718	95.7
Chiapas	Tenejapa	40 268	19 761	20 507	2%	Sin	805	395	410	96.4
Chiapas	Teopisca	37 607	18 230	19 377	2%	Sin	752	365	388	94.1
Chiapas	Amatenango del Valle	8 728	4 183	4 545	2%	Sin	175	84	91	92.0
Cuenca alta		714 726	347 316	367 410			243 034	119 289	123 745	96.4
Chiapas	Ocosingo	198 877	99 113	99 764	100%	Con	198 877	99 113	99 764	99.3
Chiapas	Altamirano	29 865	15 019	14 846	100%	Con	29 865	15 019	14 846	101.2
Chiapas	Chilón	111 554	55 205	56 349	10%	Sin	11 155	5 521	5 635	98.0
Cuenca media		340 296	169 337	170 959			239 897	119 653	120 245	99.5
Chiapas	Palenque	110 918	54 786	56 132	90%	Con	99 826	49 307	50 519	97.6
Tabasco	Tenosique	58 960	28 810	30 150	100%	Con	58 960	28 810	30 150	95.6
Tabasco	Balancán	56 739	28 318	28 421	80%	Con	45 391	22 654	22 737	99.6
Tabasco	Emiliano Zapata	29 518	14 174	15 344	100%	Con	29 518	14 174	15 344	92.4
Tabasco	Jonuta	29 511	14 812	14 699	80%	Con	23 609	11 850	11 759	100.8
Tabasco	Centla	102 110	50 925	51 185	20%	Sin	20 422	10 185	10 237	99.5
Chiapas	Benemérito de las Américas	17 282	8 695	8 587	100%	Con	17 282	8 695	8 587	101.3
Chiapas	Catazajá	17 140	8 747	8 393	90%	Con	15 426	7 872	7 554	104.2
Chiapas	Maravilla Tenejapa	11 451	5 835	5 616	90%	Con	10 306	5 252	5 054	103.9
Chiapas	Marqués de Comillas	9 856	4 993	4 863	90%	Con	8 870	4 494	4 377	102.7
Chiapas	Libertad, La	4 974	2 441	2 533	90%	Con	4 477	2 197	2 280	96.4
Campeche	Carmen	221 094	110 317	110 777	2%	Sin	4 422	2 206	2 216	99.6
Campeche	Palizada	8 352	4 230	4 122	40%	Sin	3 341	1 692	1 649	102.6
Tabasco	Macuspana	153 132	75 220	77 912	2%	Sin	3 063	1 504	1 558	96.5
Chiapas	Salto de Agua	57 253	28 433	28 820	2%	Sin	1 145	569	576	98.7
Campeche	Candelaria	41 194	20 924	20 270	2%	Sin	824	418	405	103.2
Cuenca baja		929 484	461 660	467 824			346 881	171 880	175 002	98.2
TOTAL		1 984 506	978 313	1 006 193			829 813	410 822	418 991	98.1

Fuente: Elaboración propia con datos de Inegi, 2010.

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

imperera en nuestro país, hace que los beneficios que se aplican en los municipios tiendan también a centralizarse, si es que no hay una suficiente organización comunitaria en las localidades más alejadas del municipio, que equilibre esta tendencia.

En la cuenca Alta es el municipio de Las Margaritas el que de manera definitiva tiene más peso específico en esa región en cuanto a número de habitantes se refiere, con 111 484 habitantes, prácticamente el 50% de la población de la cuenca Alta. Le sigue el municipio de La Independencia con 41 266 habitantes. En el otro extremo se encuentran los municipios de Tenejapa y Teopisca con muy escasa población, y Amatenango del Valle con solamente 175 habitantes estimados en la cuenca.

En la cuenca Media es el municipio de Ocosingo el que domina —incluso en toda la cuenca— incorporando 198 877 habitantes en ella, mientras que en la cuenca baja es el municipio de Palenque en Chiapas con mayor número de habitantes —99 826— seguido de Tenosique en Tabasco, con 58 960. El municipio con menos habitantes en la cuenca baja es el de Candelaria en Campeche, con 824 habitantes. El cuadro también muestra que la cuenca baja aglutina a 346 881 habitantes, seguida de las cuencas alta y media, con un número de habitantes semejante, 243 034 y 239 897 habitantes respectivamente. Dadas las características topográficas aunadas a una mala planeación en la cuenca baja, en el caso de que las condiciones climáticas provoquen lluvias intensas en las partes alta o media de la cuenca, la población de la parte baja es vulnerable a riesgos de desastres y es la zona en donde se ubica la mayor parte de población de la cuenca.

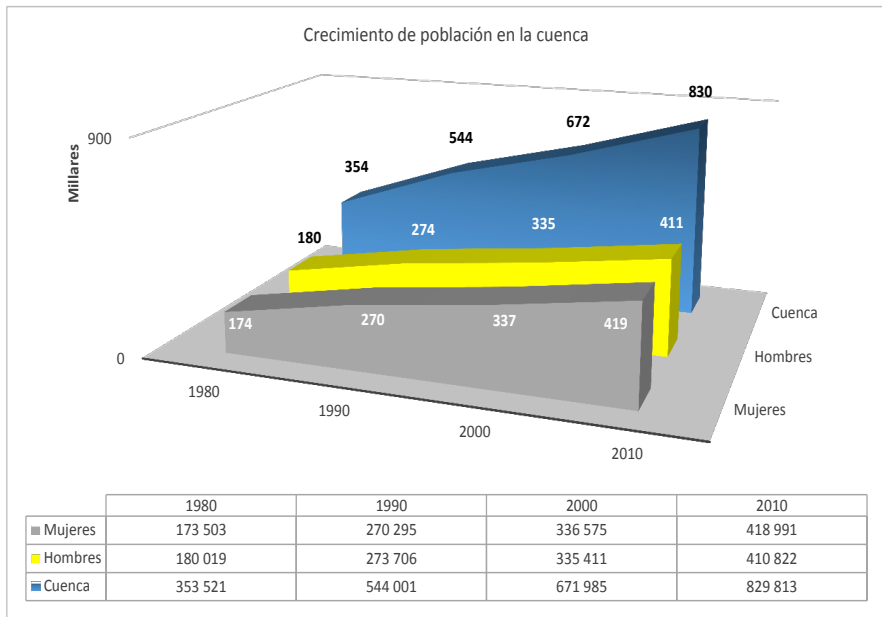
En la gráfica 1 podemos observar el crecimiento poblacional en la cuenca en los últimos 30 años. Vemos que el crecimiento ha sido intenso, pues pasó en números redondos de 354 mil a 830 mil

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

habitantes; como es natural, el crecimiento no ha sido regular y se ven variaciones en el ritmo de crecimiento de censo a censo de población. Los datos referentes al número de hombres y mujeres que habitan la cuenca también muestran diferencias en cuanto a su tasa de crecimiento cada 10 años.

Vemos que en solo 30 años el crecimiento poblacional en la cuenca pasó de 353 521 habitantes en 1980 a 829 813 en 2010. Esto es, la población se multiplicó en un 235% en solo 30 años. La presión demográfica actual en la región además de evidente, vendrá tomando niveles críticos para los habitantes de la zona en un futuro dificultando la obtención de medios de vida entre la población y con las consecuencias adversas para la flora y la fauna de la región.

Gráfica 1. Crecimiento poblacional en la cuenca.



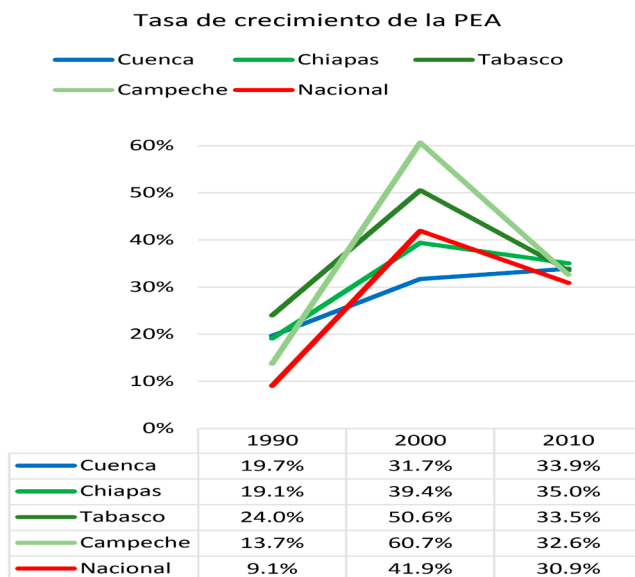
Fuente: Elaboración propia con datos de Inegi, 1980-2010.

***Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta***

Sin duda, las variables económicas muestran un aspecto muy relevante en las condiciones de vida de los habitantes de la cuenca pues tocan la condición básica en que la población vive — ¿y sobrevive?— en la región. De la base económica se parte para que una comunidad tenga o no mejores posibilidades a un mayor desarrollo económico, mayor acceso a servicios básicos, en muchos casos a mejores servicios de salud, a una buena educación y a una mejor calidad de vida. Una comunidad económicamente pobre por el contrario es más vulnerable a factores externos que tengan que ver con los diversos escenarios en los que la comunidad actúa: el social, el político, el económico, el climático.

En la cuenca la población económicamente activa (en adelante, PEA), definida como la población que efectivamente está integrada al mercado laboral presenta signos bajos de crecimiento en los

Gráfica 2. Tasa de crecimiento de la PEA. Cuenca-Estatal-Nacional.



Fuente: Elaboración propia con datos de Inegi, 1980-2010.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

últimos 30 años, si los comparamos con el entorno nacional-estatal y con el local, pero su crecimiento ha sido sostenido, tal y como lo muestra la gráfica 2.

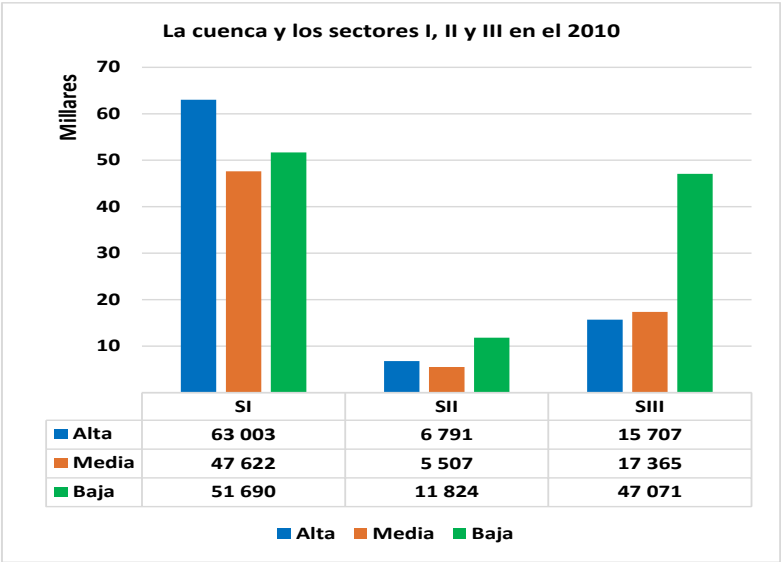
Mientras que en la década de los noventa se registró un alza importante de la PEA en los distintos entornos del orden de un 20% en Chiapas, un 30% en el nacional y en Tabasco, y un 50% en Campeche, en la cuenca solamente fue del orden del 10%. Sin embargo, en el período siguiente los entornos registran una baja mientras que la cuenca vuelve a tener un crecimiento discreto de un 3%.

Conviene ahora revisar qué sectores de la economía están representados en la cuenca. De manera somera abordemos el sector primario (S I), que incluye agricultura, ganadería, pesca, aprovechamiento forestal y caza, el sector secundario (S II) que comprende la industria manufacturera, minería, electricidad, agua y construcción, y el sector terciario (S III), que engloba comercio, servicios educativos, transportes, correo, almacenamiento, información en medios masivos, servicios financieros y de seguros, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes inmuebles, servicios profesionales y de apoyo a negocios, servicios de salud y de asistencia social, servicios de esparcimiento y culturales, servicios de hoteles y restaurantes, otros servicios y de gobierno.

La cuenca tiene un eminente carácter rural, con las diferentes actividades agropecuarias como dominantes. Es la cuenca alta en la que hay mayor participación de habitantes en este Sector, seguida de la cuenca baja y media. Si atendemos al hecho de que la cuenca baja es la mayor de acuerdo a su número de habitantes, concluimos que tiene mayor relevancia que sea el Sector I el que domine en la cuenca alta y/o que no sea el dominante en la Baja. Esto señala que la cuenca baja muestra signos que su población ya no es tan rural, dado que la participación de sus habitantes

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

Gráfica 3. Sectores económicos en la cuenca, 2010.



Fuente: *Elaboración propia con datos de Inegi, 2010.*

en el Sector III es muy elevada. El sector III sigue al sector I en importancia en toda la cuenca, de hecho en la cuenca baja predomina el sector terciario. Finalmente, el Sector II es en el que menos población participa. Las actividades de corte industrial y extractivo no son tan importantes en el contexto económico de la cuenca incluida la actividad petrolera en la cuenca baja. Es evidente que el Sector I es el más importante en la cuenca y que es el que puede verse más afectado por los efectos del cambio climático, por referirse a los recursos naturales.

Pobreza, atraso y marginación en la cuenca

Para tener una idea del panorama de atraso, pobreza y marginación que se ha vivido en la cuenca en los últimos 30 años brindaremos los índices de pobreza y marginación que publica el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) correspondientes al 2010. Estos índices informan del nivel de pobreza de la población, la pobreza extrema, la pobreza moderada, el rezago educativo, el acceso a los servicios de salud y la seguridad social, el acceso a los servicios básicos en la vivienda, a la alimentación básica, y exponen la población con ingresos por debajo de la línea de bienestar y de bienestar mínimo. En el siguiente cuadro se muestran los porcentajes de población para el índice de pobreza extrema² en los municipios de las cuencas alta, media y baja. Para facilitar su ubicación, se han señalado mediante el sombreado en fondo claro de las celdas correspondientes, los valores que rebasan el 50% de la población.

Resalta a primera vista que los porcentajes mostrados son muy elevados para las cuencas media y alta, con promedios del 65.7% y 50.7% respectivamente. En la cuenca alta, Chanal muestra el valor de índice más alto. Pero atendiendo al mayor número de habitantes, el 60.8% que muestra el municipio de Las Margaritas es muy preocupante. En la cuenca media todos los municipios presentan niveles alarmantes en especial Chilón aunque Ocosingo es especialmente importante por el gran número de personas que lo habitan y que muestra un nivel alto de pobreza extrema del 59.7%. En la cuenca baja es Maravilla Tenejapa el municipio con

2 Pobreza extrema: Una persona se encuentra en situación de pobreza extrema cuando tiene tres o más carencias, de seis posibles, dentro del Índice de Privación Social y que, además, se encuentra por debajo de la línea de bienestar mínimo. Las personas en esta situación disponen de un ingreso tan bajo que, aun si lo dedicase por completo a la adquisición de alimentos, no podría adquirir los nutrientes necesarios para tener una vida sana (Coneval, 2010).

***Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta***

Cuadro 2. Índices de pobreza extrema en la cuenca.

Entidad	Municipio	Pob en cuenca	Pobreza extrema
Chiapas	Las Margaritas	111 484	60.8
Chiapas	La Independencia	41 266	49.5
Chiapas	Huixtán	21 507	60.5
Chiapas	San Cristóbal de las Casas	18 592	21.3
Chiapas	Oxchuc	17 340	62.0
Chiapas	Comitán de Domínguez	14 101	16.6
Chiapas	Chanal	9 735	69.1
Chiapas	La Trinitaria	7 277	37.4
Chiapas	Tenejapa	805	65.2
Chiapas	Teopisca	752	48.0
Chiapas	Amatenango del Valle	175	67.6
	Cuenca alta	Promedio	50.7
Chiapas	Ocosingo	198 877	59.7
Chiapas	Altamirano	29 865	66.9
Chiapas	Chilón	11 155	70.6
	Cuenca media	Promedio	65.7
Chiapas	Palenque	99 826	38.5
Tabasco	Tenosique	58 960	14.5
Tabasco	Balancán	45 391	17.9
Tabasco	Emiliano Zapata	29 518	12.5
Tabasco	Jonuta	23 609	22.2
Tabasco	Centla	20 422	25.4
Chiapas	Benemérito de las Américas	17 282	34.6
Chiapas	Catazajá	15 426	20.2
Chiapas	Maravilla Tenejapa	10 306	68.2
Chiapas	Marqués de Comillas	8 870	48.4
Chiapas	La Libertad	4 477	22.5
Campeche	Carmen	4 422	8.4
Campeche	Palizada	3 341	17.8
Tabasco	Macuspana	3 063	15.7
Chiapas	Salto de Agua	1 145	39.1
Campeche	Candelaria	824	31.2
	Cuenca baja	Promedio	27.3

Fuente: Elaboración propia con datos de Inegi, 2010 y Coneval 2010.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

mayor índice de pobreza extrema. Si comparamos estos valores con otros municipios de referencia en otros estados de la república podemos darnos cuenta del altísimo nivel de pobreza extrema que priva en la cuenca: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (8.0%), Jiutepec, Morelos (4.3%), Xochimilco, Ciudad de México (2.7%). La diferencia es abismal pues los niveles en la cuenca son gigantescos.

Percepciones sociales sobre los impactos del cambio climático en algunas localidades de la cuenca

Nos parece pertinente complementar la información secundaria obtenida de la cuenca, con datos empíricos, a fin de dar voz a los distintos actores sociales que la habitan. Para ello se realizaron entrevistas en localidades de la parte alta de la cuenca (Municipio La Independencia, Chiapas) y de su porción baja (Municipios de Emiliano Zapata y Balancán, Tabasco). El acercamiento a los habitantes de la cuenca se realizó con el objetivo de conocer su percepción de los impactos del cambio climático en su vida cotidiana. La percepción social consiste en el reconocimiento, interpretación y significación para la elaboración de juicios en torno a las sensaciones obtenidas del ambiente físico y social, en el cual interviene el aprendizaje, la memoria y la simbolización. Con el estudio de la percepción social nos acercamos a los sistemas culturales e ideológicos de los grupos sociales, evidenciando las valoraciones atribuidas al entorno (Vargas Melgarejo, 1994). Se realizaron 17 entrevistas en el municipio La Independencia, Chiapas, (distribuidas entre campesinos, funcionarios públicos municipales y trabajadoras del sector comercio) y 21 en Emiliano Zapata y Balancán, ubicados en el estado de Tabasco (pescadores, ganaderos, funcionarios públicos municipales y federales, estudiantes e integrante de una Organización Civil de Desarrollo).

Los contenidos temáticos de las entrevistas estuvieron enfocados

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

a determinar el conocimiento sobre el concepto de cambio climático, sus manifestaciones e impactos. Para ello, en primer lugar, les preguntamos a las personas entrevistadas tanto en la parte alta como baja de la cuenca, si conocían el término de cambio climático. Los resultados encontrados pueden agruparse por sector, dado que las personas que se dedican al sector primario de producción (agricultores, ganaderos y pescadores) no habían escuchado hablar del fenómeno, mientras que los estudiantes, funcionarios públicos, trabajadores del sector comercio e integrante de Asociación Civil de Desarrollo, sí conocían el término y lo asociaron principalmente a la irregularidad de las lluvias, incremento del calor y la reducción en la capa de ozono. Nos acercamos al conocimiento local sobre el concepto de cambio climático porque consideramos que el acceso a la información es clave para la definición del riesgo, por lo tanto, debe ser considerado en el diseño de políticas y programas de adaptación (Sosa Ferreira *et al.*, 2012).

El hecho de que las personas que se dedican al campo no conozcan el término de “cambio climático” refleja, por un lado, que los medios de comunicación no están posicionando debidamente el concepto a nivel local y, por lo tanto, haría falta una estrategia más contundente para difundir el concepto y alentar a la población a tomar medidas para frenar sus impactos. Y, por el otro, que las instituciones relacionadas con las políticas de cambio climático en nuestro país tampoco están logrando cumplir con su cometido de posicionar el tema a nivel local, con la generación de políticas y programas encaminados a atender las consecuencias negativas del fenómeno en las condiciones de vida de la población. Y esto es lo más preocupante, dado que México ha creado un robusto andamiaje institucional y legal para atender el cambio climático.

De hecho, dando seguimiento a los acuerdos emanados de las

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

conferencias relacionadas con el cambio climático, en especial las Conferencias de las Partes (COPs), el gobierno mexicano creó el Sistema Nacional de Cambio Climático (SINCC), constituyéndose en el pilar del entramado institucional encargado de hacer frente al cambio climático. El Sistema Nacional de Cambio Climático está integrado por los siguientes componentes: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); entidades federativas; asociaciones de autoridades municipales; Congreso de la Unión; Consejo de Cambio Climático (formado por los sectores social, privado y académico) y finalmente, la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, la cual está compuesta por trece Secretarías de estado.

El país también ha cumplido con la obligación de elaborar y transmitir información sobre la aplicación de las acciones comprometidas, en documentos denominados “Comunicación Nacional”. De hecho, está preparando su Sexta Comunicación Nacional, a ser presentada en este año de 2017. Asimismo, recientemente, en la COP 22, realizada en Marruecos, presentó su estrategia de reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero³ (GEI) al 2050, como una señal de su compromiso para dar cumplimiento al Acuerdo de París - derivado de la COP 21, que entró en vigor en noviembre de 2016.

Asimismo, el país cuenta con la Estrategia Nacional de Cambio Climático - Visión a 10-20-40 años, la cual se apoya en diversos instrumentos: Inventario de Emisiones, Atlas de Riesgos, Instrumentos Económicos (fiscales, financieros y de mercado), Sistemas de Información, Normas Oficiales Mexicanas (NOMs), Registro Nacional de Emisiones, Impuesto al Carbono; además

3 Estrategia de largo plazo para reducir en un 50% su emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2050 tomando como base su medición del año 2000.

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

de programas estatales y municipales en materia de cambio climático y la Ley General de Cambio Climático, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de junio de 2012 y con última reforma publicada en el DOF en junio del 2016 (Merari Cid León, 2013). En ese sentido, el gobierno ha expresado su intención de atender los problemas derivados del cambio climático y les ha dado prioridad, al menos en el papel y en el discurso, al proceder a la instalación de un entramado institucional encargado de la formulación de una política nacional de cambio climático. Pese a ello, a nivel local no se refleja la intencionalidad de la robusta coordinación interinstitucional para hacer frente a una problemática global, pero con impactos severos en las condiciones de vida, el sustento de las personas y quienes dependen directamente de los recursos naturales no están siendo beneficiados por programas y proyectos en la materia.

Si bien las personas que se dedican al sector primario de producción no están familiarizadas con el término de cambio climático, al abordar algunas de sus posibles consecuencias, todas coinciden en que existen cambios significativos en el clima en los últimos años, algunos considerando el recorte temporal de 30 años y otros menos, con una temporalidad que varía entre 30 a 10 años. Nos parece interesante hacer notar que los cambios observados en ambas partes de la cuenca (alta y baja) van en el mismo sentido, apuntalando la irregularidad en la distribución de las lluvias, reducción de las lluvias, cambios en las temperaturas, con sus respectivas consecuencias negativas en los sistemas de subsistencia de las familias. Al respecto, algunos testimonios que evidencian el cambio en la distribución de las lluvias:

Ahora las lluvias son un descontrol total. Antes sabíamos cuando sembrar, pues las lluvias siempre caían en el mismo periodo y

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

así íbamos avanzando con las siembras, pero ahora nos engaña, cae tantito y deja de caer, así sembramos y después perdemos las semillas, porque no llueve y todo se seca. Estos cambios sólo perjudican a nosotros, los campesinos, que dependemos de las lluvias para alimentar a nuestras familias. Campesino, entrevistado 4, La Independencia, Chiapas.

Ahora las lluvias pueden adelantar o retrasar, uno no sabe. Antes teníamos bien programado el ciclo de las siembras, ahora es incierto e ya no pudimos sembrar el maíz que sembrábamos en diciembre por la falta de lluvia. Antes teníamos producción de sandía y nos ayudaba en la economía, pero ahora la sandía ya no da, por la apertura en los ciclos del agua, que trae las enfermedades y perdemos las cosechas. Ya no es rentable pues... Campesino, entrevistado 5, Balancán, Tabasco.

Con relación a la temperatura, la percepción social de las personas entrevistadas presenta una diferencia en la cuenca alta en comparación con la baja. Mientras en la parte alta la percepción generalizada identifica un incremento de la temperatura, en la parte baja de la cuenca las personas entrevistadas plantean que ahora hay extremos en las temperaturas (más frío y más calor). Asimismo, estas percepciones son coincidentes con resultados de investigaciones realizadas en Ecuador, por VanderMolen (2011) y Paes de Menezes *et al.*, (2011) en Brasil, en donde las personas entrevistadas también apuntalan estos cambios en las temperaturas y distribución de las lluvias. La percepción de los campesinos de México, Ecuador y Brasil coinciden con el planteamiento del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, el cual asevera que el cambio climático provocará un incremento medio global de la temperatura del planeta entre 1.8 °C y 4.0 °C hasta 2100. Añade el informe que dicho incremento puede alcanzar los 6.4 °C si la población y la economía mundial mantienen la misma lógica de crecimiento, con un consumo intensivo de combustibles fósiles. Asimismo, plantea que las comunidades pobres son las que más

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

sufrirán los efectos del cambio climático, por tener una capacidad de adaptación limitada y ser más dependientes de los recursos naturales (IPCC, 2008; 2014).

Al iniciar la investigación teníamos en mente que con el cambio climático la tendencia a la sequía sería más fuerte en la zona de estudio, las respuestas de las personas entrevistadas en las partes alta y baja de la cuenca confirmaron nuestra premisa, al enunciar unánimes, de que las lluvias habían reducido y que su gran problema era la sequía y no las inundaciones. De hecho, en la parte baja de la cuenca del Usumacinta los pescadores del municipio de Balancán afirmaron que el río Usumacinta ha cambiado su aporte y en la actualidad, las lagunas que se llenaban con las inundaciones y les brindaban una buena cantidad de pesca, ya no son productivas, pues ya no se logran llenar y con ello, no hay la posibilidad de una buena pesca. Un entrevistado comenta:

Antes, en esta temporada, las lagunas estaban llenas de agua y era una belleza, pues era muy fácil pescar en las lagunas. Pero ahora llueve muy poquito y rápido y así el agua no logra inundar junto al río y las lagunas ya no son lagunas. Ya son unos charquitos que no sirven para la pesca. Y nosotros, que vivíamos contando con el dinerito que nos daba la laguna, ya no tenemos esto y tenemos que estar buscando qué hacer para poder salir adelante. Eso es muy serio y si sigue así, quién sabe en dónde vamos a parar. Campesino, entrevistado 7, Balancán, Tabasco.

Asimismo, los pescadores del municipio de Emiliano Zapata reiteraron que la reducción de las lluvias está teniendo consecuencias negativas en la pesca, aunado a la introducción del pez diablo, que al no tener predador, se reproduce muy rápidamente, reduciendo la población de los peces que son redituables para la venta. En la voz de un pescador:

Con el pez diablo sacamos \$50 centavos el kilo y con el peje

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

lagarto 50 pesos el kilo y cada vez vienen en la red más peces diablo. Además, está el problema de las lluvias. Ya no sale la vida de pescador, tenemos que buscar alternativas de albañil y con la palma de aceite. Campesino, entrevistado 14, Emiliano Zapata, Tabasco.

En la parte alta de la cuenca son los campesinos quienes reclaman de las sequías, lo que no sólo les ocasiona pérdida de cosechas, sino que está provocando la discontinuidad de un procedimiento tradicional milenario de cultivo de milpa, conocido como sistema “pul-ha”⁴, de tal suerte que se siente el impacto de la sequía no sólo en los sistemas productivos pesqueros y agrícolas, sino en lo cultural, en donde se manifiesta la pérdida del arraigo de prácticas tradicionales como una estrategia de “adaptación” a los nuevos tiempos. Adaptación que implica una severa pérdida. Nuevamente el sentir de campesinos y pescadores no es exclusivo de México y de la cuenca del Usumacinta, sino es compartido con habitantes de la microcuenca Mollebamba, en Perú, quienes señalan que las sequías actuales son cada vez más prolongadas y con mayor impacto en sus economías y modos de vida (Flores Moreno y Valdivia Corrales, 2012).

Es importante resaltar que, a pesar de que las personas que se dedican al sector primario de producción (campesinos, ganaderos y pescadores) no conozcan el término de cambio climático, tienen una argumentación muy sólida y clara respecto a sus impactos en la vida cotidiana, como quedó patente en líneas anteriores,

4 Pul-ha es una palabra tojolabal y quiere decir balde con agua (“ha” en tojolabal es agua y “pul” significa cubeta o balde). Con este método se preparaba el terreno a finales de enero para sembrar en la primera quincena de febrero. Y se sembraba la milpa en febrero porque entre febrero a abril habían por lo menos dos eventos fuertes de lluvias que ayudaban a mantener vivas las plantas pequeñas de maíz. En la actualidad ya no es seguro que llueva en estas fechas, más bien, es más común que las lluvias empiecen entre junio y julio. Por ello ya no quieren arriesgarse a sembrar con el método “pul-ha”.

*Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta*

con sus descripciones acerca de la irregularidad y reducción de las lluvias y las consecuencias en sus medios de vida. Por otro lado, los actores sociales que sí conocen el término de cambio climático, como las personas que se dedican al comercio o al sector gobierno, no necesariamente describen sus causas y consecuencias a partir de sus vidas cotidianas, sino refiriéndose a noticias de los medios de comunicación, como “reducción de la capa de ozono” o “desaparición de ciudades costeras”. En éste caso, las personas no se refieren a los riesgos a que están expuestas directamente o a impactos ya vivenciados, sino a expectativas construidas a partir de información recibida por los medios; lo que comprueba la premisa de Beck (1992) acerca de la “sociedad del riesgo”, en la cual las personas alteran sus creencias, comportamientos e intereses, por vivir en una era cuyas sociedades experimentan cambios radicales relacionados con los riesgos ambientales y, como tal, sus percepciones acerca del riesgo son magnificadas.

Conclusiones

El cambio climático, más allá de constituirse en un tema discursivo ambiental o político, tiene fuertes implicaciones sociales, económicas y culturales. Impacta directamente en el desarrollo de las comunidades, al incrementar riesgos y vulnerabilidades sobre los medios de vida de los cuales depende directamente un amplio sector de la población, especialmente el más pobre. La condición de pobreza y dependencia directa de los recursos naturales posicionan a una gran proporción de la población de la cuenca del Usumacinta en una condición de desventaja para hacer frente a los retos planteados por el cambio climático, dado que sin duda, las personas que viven en condición de pobreza son las más vulnerables a cambios ambientales (Neumayer and Plumper 2007).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

En el marco del cambio climático, para que pudiesen darse condiciones para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la cuenca dentro de un mayor equilibrio ambiental en la región, es imprescindible que el andamiaje institucional que se ha formado para atender las consecuencias del cambio climático pueda realmente hacerse visible a nivel local, con las trece Secretarías de estado que componen la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, trabajando de manera coordinada y con políticas, programas y proyectos orientados a hacer frente a los impactos negativos del cambio climático y a sensibilizar a la población local y regional en la materia. De hecho, sería primordial desplegar una urgente concientización en la población local y aplicar recursos para impulsar un desarrollo hacia la soberanía alimentaria mediante la instrumentación de técnicas sustentables de producción de alimentos de autoconsumo, así como de ecotecnias para el adecuado aprovechamiento del agua en la región y la energía solar que es la base que sustenta a toda la cuenca en conjunto. Es indispensable reforzar el cuidado de las áreas protegidas e iniciar la reconstrucción de la cubierta forestal de las áreas que requieren mayor atención.

Esto no se ha impulsado en el pasado ni se estimula en el presente, y las amenazas que el cambio climático conlleva y cuyos efectos ya se están mostrando en la región, evidencian los grandes vacíos y omisiones que se han dado por parte de los distintos niveles de gobierno. No se han abierto canales para que la población se organice y participe tanto en la prevención como en la atención de las emergencias y posteriormente en la reconstrucción. No se ha impulsado una cultura ambiental ni del agua entre los pobladores, ni se aplica un adecuado manejo de residuos sólidos que degradan el territorio, o de las aguas vertidas que afectan la calidad del agua río abajo.

***Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta***

La riqueza natural de la región sigue siendo extremadamente importante y quizá aún sea tiempo para detener su creciente destrucción y dar pasos hacia una sociedad sustentable, por lo que es primordial para sus habitantes que las administraciones de todo nivel de gobierno asuman un compromiso real y sostenido para satisfacer las necesidades de la población, atender los rezagos en materia social y económica, sin menoscabo de la protección de los recursos naturales de esta valiosa región del país. Al margen de multitud de voces que vienen señalando desde hace tiempo la urgencia y la dirección hacia la que hay que llevar este necesario esfuerzo y que existe un inapreciable trabajo y una gran voluntad de grupos sociales que intentan responder a este gran desafío, aún no se alcanza a ver en el horizonte cercano señales claras de un cambio decisivo. Aun así, seguramente habrá quienes continúen sumando esfuerzos en la defensa de esta prodigiosa región, animando voluntades y despertando consciencias.

Bibliografía

- Beck, U. (1992). *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. Editora 34. São Paulo.
- Cabrera, J. y Cuc P. (2002). *Ambiente, conflicto y cooperación en la cuenca del Río Usumacinta*, Fundación para la Paz y la Democracia. San José de Costa Rica.
- Casillas C. (2012). *Análisis de la transición forestal de la Región del Usumacinta*, UNAM. 166 pp.
- Coneval (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2016). <http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx>
- Cook J., Nuccitelli D., Green S., Richardson M., Winkler B., Painting R., Way R., Jacobs P. y Skuce A. (2013). Quantifying

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature.
- De la Maza, J. y J. Carabias (eds.). (2011). Usumacinta: bases para una política de sustentabilidad ambiental. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Natura y Ecosistemas Mexicanos AC, México*. 252 pp.
- Flores Moreno, A. y Valdivia Corrales, G. (2011). *Las percepciones de la población rural campesina de la Microcuenca Mollebamba sobre la incidencia del cambio climático en su forma de vida*. Serie Investigación, Nro. 5. Microcuenca Mollebamba. Cusco, Perú: Centro Bartolomé de las Casas, PACCPerú, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- García A. y Kauffer E. (2009). “*Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general*”, *Frontera Norte* Vol. 23, No. 45. Pp. 131-162.
- INE, Instituto Nacional de Ecología (2000). *Programa de Manejo de Reserva de la Biósfera Montes Azules, México*. Semarnap-INE, México.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática)
- Censos de Población y Vivienda 1970, 1980, 1990, 2000, 2010.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: IPCC.
- IPCC (2008). Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis. Ginebra: IPCC.
- March I. y Castro M. (2010). “*La Cuenca del Río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable.*”, TNC.
- Merari Cid León, D. (2013). La Estrategia Nacional de Cambio Climático - Visión 10-20-40. *Diario Oficial de la Federación*,

***Apreciación social del Cambio Climático.
Una aproximación a la población de la cuenca del río Usumacinta***

- 6 de junio, 2013. Instituto de Ingeniería, UNAM. Disponible en: <http://proyectos2.iingen.unam.mx/LACClimateChange/docs/boletin/EstrategiaNalCC.pdf>
- Neumayer, E and Plumper, T. (2007). "The Gendered Nature of Natural Disasters: The impact of Catastrophic Events on the Gender Gap in Life Expectancy, 1981-2002." *Annals of the Association of American Geographers*, 97:551-566.
- Paes de Menezes, L. C., Carneval de Oliveira, B. M. y Giovanetti El-Deir, S. (2011). Percepção ambiental sobre mudanças climáticas: estudo de caso no semiárido pernambucano. Ponencia presentada en II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Londrina, Paraná. Recuperado de <http://www.ibeas.org.br/congresso2/>
- Rodríguez, Y. (2010). *La Región Usumacinta en México. Características y especificaciones de la agenda común para el desarrollo de la región*. Conabio-Conacyt-Centro Geo. 64 pp.
- Sánchez Vargas, A., Estrada Porrúa, F y Gay García, C. (2012). *El cambio climático y la pobreza en el Distrito Federal*, Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Sosa Ferreira, A. P., González Neri, I. y Valtierra Hernández, A. (2012). Percepción de las comunidades costeras de la Península de Yucatán ante el cambio climático, su vulnerabilidad y adaptación. Mérida: SEP, PROMEP, Universidad del Caribe, CATS.
- Toledo Sánchez, H. M. (2011). *Fragilidad, vulnerabilidad y riesgo en la cuenca baja del sistema Grijalva-Usumacinta*, IPN. pp. 143.
- Vargas Melgarejo, L. M. (1994). "Sobre el concepto de percepción", *Alteridades*, 4 (8): pp. 47-53

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Wallerstein, I. (2008). Ecología y costes de producción capitalistas: no hay salida, *Revista Futuros*, núm. 20. Vol. VI
- VanderMolen, K. (2011). Percepciones de cambio climático y estrategias de adaptación en las comunidades agrícolas de Cotacachi. *Ecuador Debate*, 82, 145 - 158.





Sistema de manejo
integrado de bosque,
agricultura y pesca,
La Trinitaria, Chiapas

Fotografía
Antonieta Zárate Toledo

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas: prácticas productivas y capacidades adaptativas frente al cambio climático

*Antonieta Zárate Toledo
y Antonino García García*

Resumen

En este capítulo exploramos la experiencia adaptativa de los habitantes del área de Montebello, Chiapas, y sus potencialidades para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación a la variabilidad climática, con la perspectiva de aportar elementos que permitan profundizar en la adaptación de la agricultura ante el cambio climático, desde una dimensión sociocultural. Analizamos las prácticas productivas que los campesinos del ejido Ojo de Agua, municipio de La Independencia, han desarrollado históricamente desde la fundación del ejido, a mediados del siglo XX, hasta la actualidad, para resaltar los cambios más relevantes en la agricultura local y, en general, en la apropiación de los recursos naturales.

Palabras clave: cambio climático, prácticas productivas, capacidades adaptativas

Introducción

La actividad agrícola en México, como en general en los países en desarrollo, es altamente vulnerable y en la actualidad se encuentra expuesta por partida doble, tanto a los cambios socioeconómicos

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

que se dan dentro del proceso de globalización económica, como a las variaciones climáticas (Conde *et al.*, 2002). Frente a esta problemática, el gobierno mexicano ha buscado incorporar este fenómeno en los esquemas de planificación del país, sin que ello se haya concretado en estrategias y acciones orientadas a mitigar el impacto del escenario del calentamiento global en los ecosistemas, la vida social y, en particular, la actividad agrícola.

En este contexto resulta pertinente analizar las capacidades adaptativas de las comunidades rurales, es decir, “la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los eventos extremos), moderar los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades y enfrentar las consecuencias” (Magrin, 2015:5). Consideramos que tales capacidades son parte de la resiliencia tanto social como ecológica, y que se desprenden de las experiencias locales de uso, apropiación y manejo de recursos naturales, las cuales incluyen el diseño de prácticas y estrategias productivas.

Desde esta óptica es pertinente preguntarnos, ¿en qué medida las experiencias de las comunidades locales, en su relación con el medio ambiente, contribuyen a generar estrategias de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático? Para dar respuesta a esta interrogante, en este trabajo abordamos analíticamente las transformaciones ambientales y los sistemas productivos que resultaron de los procesos de ocupación agraria en el área aledaña al Parque Nacional Lagunas de Montebello, que hidrológicamente se conoce como la subcuenca Montebello-Pojom, en la parte alta de la cuenca del río Usumacinta en su porción correspondiente al territorio mexicano.

El argumento que guía este análisis es que la experiencia de las comunidades locales en la apropiación del medio ambiente

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

genera capacidades adaptativas que hacen posible enfrentar el fenómeno del cambio climático. En esta perspectiva, partimos del análisis de las prácticas productivas que los campesinos del ejido Ojo de Agua, municipio La Independencia, han desarrollado históricamente desde la fundación del ejido, a mediados del siglo XX, hasta la actualidad; ello, a fin de resaltar los cambios más relevantes en la agricultura local y, en general, en la apropiación de los recursos naturales. Buscamos evidenciar en qué medida la experiencia adaptativa de los habitantes de Ojo de Agua puede contribuir al diseño de estrategias de adaptación y mitigación a la variabilidad climática en el área de estudio y, así, aportar elementos que permitan profundizar en la adaptación de la agricultura ante el cambio climático desde la dimensión sociocultural, mediante el abordaje de un enfoque teórico conceptual que posibilite comprender el fenómeno de la adaptación al cambio climático de manera holística (Casanova *et al.*, 2016).

La información aquí presentada se obtuvo a través de trabajo de campo, observación participante y entrevistas a profundidad en las comunidades Ojo de Agua y Yalmutz, en el ejido Ojo de Agua.

El presente estudio se organiza en cuatro apartados. En primer lugar, discutimos en torno a la importancia de abordar las interacciones de las poblaciones locales para establecer un marco desde el cual se puede enfrentar el fenómeno del cambio climático; ponemos énfasis que las experiencias productivas de las comunidades campesinas pueden contribuir a diseñar estrategias para hacer frente a la variabilidad climática. En segundo lugar, abordamos las interacciones de los habitantes del ejido con su entorno natural, desde prácticas productivas concretas. En el tercer apartado, analizamos las transformaciones agrícolas en el ejido Ojo de Agua. Finalmente, en el último apartado reflexionamos en torno al papel de las prácticas productivas de los pobladores de Ojo de

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Agua en la transformación del territorio, así como su importancia para hacer frente al fenómeno del cambio climático.

Acercamientos, interrelaciones socioculturales y territorio

El escenario del calentamiento global traerá consigo un impacto en los recursos hídricos de México. Como consecuencia, se espera una disminución en la disponibilidad hídrica, producto de menores precipitaciones en la mayor parte del país y un incremento en los niveles de evaporación, así como el aumento en la demanda de agua (Martínez *et al.*, 2010:229). Se prevé, también, que el estrés térmico ocasionado por el calentamiento global disminuirá la productividad de algunos de los cultivos más importantes para México. Es necesario, por ello, incorporar los efectos del calentamiento global en la planeación y gestión de los recursos hídricos.

El calentamiento global se asocia a “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempos comparables” (IPCC, 2007:77). En cuanto al efecto del calentamiento global en los recursos hídricos, se prevé que la modificación de la temperatura media del planeta ocasionará importantes impactos en el ciclo hidrológico (Martínez *et al.*, 2010). A su vez, el impacto del calentamiento global en los recursos hídricos producirá trascendentales efectos, tanto en las sociedades humanas como en los ecosistemas.

En 1992 fue celebrada la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. De ella se derivó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, organismo responsable de proponer y

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

coordinar estrategias para hacer frente al calentamiento global, con énfasis en la reducción de gases de efecto invernadero, así como de definir medidas de adaptación y mitigación. Esta convención ha sido signada por 189 países y está vigente desde 1994. En este contexto, México ha adquirido el compromiso de atender los problemas derivados del calentamiento global. En el plano formal ha formulado planes y programas; ha desarrollado estudios, investigaciones, diagnósticos y estadísticas, y ha construido un marco institucional para hacer frente a esta problemática.

En 2012 entró en vigor la Ley General de Cambio Climático, la cual establece que la Federación es la encargada de formular y conducir la política nacional de cambio climático, de acuerdo con principios claramente definidos, entre los que destaca la corresponsabilidad social. El principal instrumento de política pública para enfrentar el cambio climático con que cuenta México es el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018, cuyo objetivo es fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio climático e incorporar acciones de adaptación y mitigación con un enfoque sistemático, descentralizado, participativo e integral. Las estrategias de política pública en México se organizan en los siguientes ejes: gestión de riesgos hidrometeorológicos, manejo de recursos hídricos, biodiversidad y servicios ambientales; agricultura y ganadería; zonas costeras, asentamientos humanos, y generación y uso de energías (Soares y García, 2014:72).

En lo que se refiere a la gestión de riesgos hidrometeorológicos y la gestión de los recursos hídricos, además de aquellas medidas enfocadas a fortalecer la gestión integral de cuencas, la restauración de ecosistemas y cuerpos de agua, se habla de la necesidad de rescatar las tecnologías tradicionales en el manejo de los recursos naturales, así como la recuperación de experiencias de

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

la población vulnerable frente a la variabilidad climática (Soares y García, 2014: 73).

En las últimas dos décadas, se ha observado incremento en la intensidad y cambio en la frecuencia de fenómenos meteorológicos, lo cual se ha asociado al calentamiento global (Soares y García, 2014:66). Tales fenómenos han tenido impactos considerables en las condiciones de vida de la población, incrementando los niveles de pobreza y exclusión social, desempleo, pérdida de seguridad alimentaria, así como también ha acentuado los procesos de emigración de la población rural hacia las grandes ciudades (Soares y García 2014). En este escenario resulta de gran importancia realizar investigaciones que permitan comprender los impactos del fenómeno del cambio climático en las comunidades locales, que coadyuven al desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación.

Por otra parte, debe señalarse también que la investigación científica ha jugado un papel de gran interés en la generación de conocimiento que ha servido de base para el desarrollo de lineamientos y estrategias de política ambiental en materia del cambio climático a escala internacional. Sin embargo, la agenda científica que se ha establecido en torno al fenómeno está cargada básicamente hacia las ciencias naturales, lo cual limita, en cierta medida, la comprensión holística de la problemática, ya que el cambio climático es un fenómeno vinculado con las prácticas humanas de apropiación del entorno.

Las ciencias sociales tienen un papel crucial en la comprensión de las relaciones sociedad-naturaleza y, en particular, de los procesos de apropiación social del territorio y sus recursos naturales. A partir del estudio de esta dimensión es posible construir un paradigma nuevo sobre la adaptación que contribuya a establecer

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

una relación distinta entre sociedad y naturaleza (Casanova *et al.*, 2016). El estudio de la dimensión sociocultural de la agricultura resulta pertinente para comprender cómo las comunidades locales están respondiendo a los efectos del cambio climático, desde su propia racionalidad.

Con el fin de aproximarnos de forma analítica a los procesos de apropiación de la naturaleza, en este trabajo partimos de la noción de producción social del espacio de Henry Lefebvre, quien privilegia la dimensión social, al afirmar que el espacio social es producido por las relaciones sociales y las relaciones entre la sociedad y la naturaleza; por lo tanto, es un producto social históricamente construido por la dinámica de los modos de producción (Lefebvre, 1991:131).

El espacio socialmente producido en Lefebvre (1991), se refiere concretamente a la forma en que los diferentes grupos humanos apropian y transforman su entorno geográfico. Este proceso social posee una naturaleza dialéctica en el que el poder de los actores que disputan el espacio acaba definiendo la forma de éste. David Harvey (2004 [1990]), por su parte, se apoya en la noción de espacio socialmente producido de Lefebvre y afirma que espacio y tiempo son categorías indisociables, ya que ambas son social e históricamente construidas; es decir, el producto de modos de producción particulares. Desde su perspectiva, espacio y tiempo son permanentemente creados y recreados para adaptarlos a las condiciones de los modos de producción. El espacio geográfico no está dado, sino que es apropiado, adaptado, reinterpretado y transformado de manera permanente por la población que lo explota, vive y atraviesa (Harvey, 2004:228).

Por otra parte, desde la perspectiva de la ecología cultural (Steward, 2007), se precisa considerar que naturaleza y sociedad son elementos que se configuran mutuamente, dando como

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

resultado procesos adaptativos que no son sino una combinación determinada entre medio ambiente y tecnología, lo que posibilita la existencia de un tipo particular de organización social y de instituciones locales a partir de las cuales se establece la regulación de los procesos de apropiación local de los recursos naturales.

Bajo esta perspectiva, la cultura concebida como un dispositivo de adaptación, se considera como:

un elemento autónomo diferenciado de sus elementos portadores, es decir, de los individuos que se insertan en el ambiente como un elemento más que afecta y es afectado por la red de relaciones que se establecen dentro del sistema natural, cuyo origen y leyes no son las mismas que rigen los fenómenos biológicos. (Durand, 2002:173).

Bajo esta perspectiva de análisis, retomamos la noción de apropiación de la naturaleza desde el enfoque de Godelier (1989), quien hace referencia a las reglas de acceso, uso y control a través de las cuales se define la propiedad sobre los recursos. De esta manera, las formas de apropiación contemplan las reglas para la apropiación, las decisiones que se pueden tomar de acuerdo con las reglas y los sistemas productivos que expresan las formas de apropiación concreta de la naturaleza.

En este trabajo partimos del análisis de las prácticas de apropiación del territorio y sus recursos en el ejido Ojo de Agua, en su dimensión concreta, es decir: las estrategias y las prácticas productivas, así como la dimensión organizativa de tales procesos. Ello, a fin de vislumbrar la forma en que los habitantes de Ojo de Agua construyen el espacio y el territorio que habitan.

Interacciones con la naturaleza en Montebello: de la ocupación de tierras a la construcción social de la naturaleza

El ejido Ojo de Agua se localiza en el área de influencia del Parque Nacional Lagunas de Montebello, municipio de La Independencia, Chiapas. Fue fundado en 1937, en el marco de los procesos de reparto agrario que tuvieron lugar en la región, el cual inició en la década de 1930 y continuó hasta la década de 1990. Antiguamente, las tierras del ejido formaron parte de una pequeña propiedad conocida como Santa Rosa, y algunas de las familias que lo habitan en la actualidad, trabajaron como peones en dicha finca.

En 1959 fue decretado el Parque Nacional Lagunas de Montebello, a fin de preservar un área natural considerada de gran valor ecológico y paisajístico. Posteriormente, y a medida en que la población crecía en el área, los pobladores de la zona buscaron expandirse sobre las pequeñas propiedades que existían en el área. En el caso del ejido Ojo de Agua, éste recibió una ampliación de un poco más de novecientas hectáreas de terrenos nacionales en 1964 y, hacia 1970, sus habitantes buscaron una segunda ampliación del ejido sobre lo que quedaba de tierra en la pequeña finca Yalmutz.

Cabe señalar que en las tierras cercanas al parque nacional no se alcanzaron a desarrollar grandes haciendas agrícolas debido a las características ambientales del área: predominio de un ecosistema de tipo lacustre, condiciones de humedad, altos niveles de precipitación y bajas temperaturas que prevalecían gran parte del año en esta microrregión. Por tal motivo, hasta la primera mitad del siglo XX no se llegaron a desarrollar centros de población en el área, a diferencia de las microrregiones conocidas como

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

los Llanos de Comitán, en las inmediaciones de la ciudad de Comitán, y la zona conocida como Tierra Caliente, municipio fronterizo de La Trinitaria, asientos de haciendas y ranchos de considerable importancia, en torno a los cuales se organizó la vida social y económica de la región.

En este sentido, se puede decir que el proceso agrario en el área de Montebello significó la colonización de amplias superficies de bosques y selvas baldías. El ejido se conformó con pobladores de origen tzeltal y tojolabal procedentes de las localidades de Badenia y Nueva Cruz, ubicadas en tierras montañosas de La Independencia. Algunos de los trabajadores que vivían en la propiedad Santa Rosa, hoy Yalmutz, provenían de la región de los Cuchumatanes, Guatemala. Los pioneros del ejido, al ser originarios de otras regiones, desconocían el ambiente al que se enfrentaban, razón por la que hasta después de una década comenzaron a tener mayor conocimiento y experiencia en el manejo del territorio y en desarrollar la agricultura de forma exitosa. A continuación, profundizaremos esta experiencia.

El territorio del ejido Ojo de Agua se encuentra emplazado en el margen occidental de la laguna, conocida como San Lorenzo, una de las más importantes del sistema lagunar Montebello. Se calcula que más de la mitad de su territorio lo ocupan cuerpos de agua y montañas, mientras el resto son terrenos laborables y de agostadero. La laguna San Lorenzo es el límite entre Ojo de Agua y el ejido vecino Miguel Hidalgo; una extensión de 147.60 hectáreas de la superficie de la laguna pertenece a Ojo de Agua. Dicha laguna se encuentra bordeada por un macizo montañoso que alcanza hasta los 1 800 metros sobre el nivel del mar, el cual separa este cuerpo de agua, que se conoce como la zona urbana de Ojo de Agua.

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

Las porciones norte y este del ejido comprenden serranías que van desde los 1 600 a los 1 800 metros sobre el nivel del mar cubiertas, en su mayor parte, de bosques de pino (ocote) en su parte más alta, y acahuals (vegetación secundaria) y parcelas en sus tierras más bajas. Históricamente, esta zona ha sido destinada a la explotación forestal.

De acuerdo con la información proporcionada por la Junta Ejidal, del total del territorio de Ojo de Agua, aproximadamente 50% está dedicado al cultivo de maíz, frijol y áreas de acahual; alrededor de 10% está destinado al uso urbano y, el resto, corresponde a cuerpos de agua y áreas de bosque. En el ejido Ojo de Agua se asientan tres comunidades: Ojo de Agua, Yalmutz y San Miguel, de las que Ojo de Agua es la más importante ya que alberga más del 90% de la población del ejido.

La actividad agrícola del ejido se centra en la agricultura de temporal milpera (maíz-frijol-calabaza-tomatillo), el manejo forestal y, recientemente, el cultivo de tomatillo bajo sistema de riego. El sistema milpero de roza-tumba-quema, practicado en el ejido, determina que las parcelas sean cultivadas durante algunos años. Así, los agricultores del ejido se desplazan a lo largo del territorio, generando una importante variedad de paisajes ejidales intervenidos, que incluyen terrenos de cultivos, acahuals y bosques de pino y bosques mesófilos de montaña. Para profundizar en el análisis de las formas de apropiación local del territorio y los recursos naturales, a continuación describiremos la práctica agrícola y sus transformaciones a lo largo de la historia del ejido.

Modelos de apropiación de los recursos naturales en Ojo de Agua: agricultura y manejo forestal

En el área circundante a las Lagunas de Montebello, hacia fines del mes de abril comienza a observarse a los campesinos en las

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

labores de limpieza de sus parcelas. Posterior a la roza de los campos, se procede a la quema de los restos de la cubierta vegetal, práctica que marca el fin de la estación seca que comienza en el mes de noviembre y culmina en mayo. La roza-tumba-quema practicada desde tiempos prehispánicos en las comunidades rurales del sur de México es considerada, aun en nuestros días, como la más importante forma de subsistencia campesina. No obstante, es bien sabido que este sistema se contempla como una de las principales amenazas para el bosque, debido a que implica el desplazamiento periódico de los cultivos que va alterando la superficie arbolada. Por este motivo, los ambientalistas señalan incompatible esta práctica con la conservación de los recursos forestales (Haenn, 2005:113).

El sistema de roza-tumba-quema ha sido el mecanismo mediante el cual los campesinos del ejido han transformado el entorno natural del territorio ejidal que, en un inicio, estaba cubierto por bosques húmedos de pino-encino. Durante los primeros años del ejido, cuando los habitantes de Ojo de Agua comenzaron a trabajar en las tierras ejidales que les fueron dotadas, tuvieron que abrir claros en el bosque para establecer sus milpas y potreros. A través de esta práctica, se sustituyeron amplias extensiones de bosques por milpas, potreros y acahuales en las décadas subsecuentes. Como consecuencia ahora, en la parte baja de la cuenca río Grande Lagunas de Montebello, es decir, el área del Parque Nacional y en particular el territorio del ejido Ojo de Agua, predominan los usos de suelo de tipo agrícola, vegetación secundaria y pastizales cultivados.

Los relatos de los primeros pobladores del ejido resaltan las dificultades para la producción agrícola y el sostenimiento de la vida en las nuevas tierras. Las bajas temperaturas y abundantes lluvias durante casi todo el año impedían el desarrollo de los

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

cultivos de maíz y frijol, por lo cual los pobladores debían recurrir a actividades alternas para su reproducción, tales como la elaboración de morrales a base de una fibra extraída de una palma que crecía en el área, la alfarería y, después, el aprovechamiento forestal.

La vida anterior era muy trabajosa, muy difícil. En ese tiempo que se formó el ejido, en el año 1937, el clima era muy diferente; era muy frío, llovía mucho, no se podía sembrar, el maíz no pegaba. Las milpas no se lograban. En los días del invierno llovía desde noviembre, diciembre, enero, febrero, hasta marzo. Entonces la gente no trabajaba porque llovía demasiado. Después de marzo ya la gente trabajaba; pura rozadura hacía la gente y esa rozadura sí había necesidad de prenderle la lumbre; no se quemaba por la humedad. Había años en que comenzaban las lluvias desde el mes de mayo, mire usted, los cambios. Después, por ahí del año 1950, empezó a haber un cambio en el clima, se fue alejando la lluvia y comenzaron a hacer diferente el cultivo; la gente comenzó a hacer otra forma de vida, entonces ya se sembraba más, la milpa ya creció (entrevista con Jaime Pérez Jiménez, Ojo de Agua, 1º de diciembre, 2011).

Además de la agricultura de roza-tumba-quema, los pobladores del ejido comenzaron a realizar el aprovechamiento forestal hacia la década de 1960. Esta práctica ha sido también de gran relevancia en la transformación de las condiciones ambientales del ejido, ya que a través de ella se ha modificado el tipo de vegetación original de bosques de pino-encino, que pasó a ser básicamente pino, en la actualidad.

No reforestamos, nomás le damos una chapeada ahí en donde es el área de corta pue, porque sólo se reforesta pue ahí sale mucha semilla. Lo viera usted donde trabajamos, donde se ha cortado, ya vienen los árboles así de alto pue, es que es mucha semilla lo que tiene el ocote, esa semilla sale y se crece pue, cuando viene a ver ya están los árboles de un metro tal vez (entrevista con Arturo Santiz Jiménez, Ojo de Agua, 12 de marzo, 2012).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

En 1969, los ejidatarios de Ojo de Agua realizaron por primera vez la explotación de sus bosques, vendiendo su madera a un contratista forestal. A partir de entonces, la actividad ha sido fundamental para los ejidatarios locales, al mismo tiempo en que se ha convertido en un elemento de gran importancia en la modificación del paisaje y las condiciones ambientales, en general.

Antes esto era puro ocotal, pero con el tiempo se ha venido acabando. Cuando era niño, se sacaban hasta tres mil metros cúbicos al año. Ahora, si acaso, se sacan 900 mil o mil cien metros cúbicos, porque la gente aquí su pensamiento es otro; esperan que el monte crezca solito, pero yo pienso que hay que ayudarle un poco, hay que sembrar (entrevista con Rodolfo Pérez, Ojo de Agua, 9 de mayo, 2012).

Si bien la población local reconoce que el proceso de regeneración de este tipo de árboles es rápido y no requiere de mucho trabajo, en las últimas décadas la cubierta vegetal del ejido ha disminuido de manera importante, así como también la altura y grosor de los árboles del bosque, lo cual se observa en la caída del volumen del aprovechamiento forestal del ejido. Aunado a ello, la escasa presencia de vegetación de encino ha incidido en las condiciones de los suelos y la humedad en el ambiente, que han propiciado mejores condiciones para el desarrollo de los cultivos. Para profundizar en las experiencias de los pobladores locales en las prácticas agrícolas, analizaremos a continuación la diversificación de los cultivos en el ejido.

Milpa y transformaciones agrícolas en Ojo de Agua

El principal ciclo productivo de la milpa en Ojo de Agua es el que se cultiva en mayo y se cosecha en octubre. En promedio, las familias siembran de tres a cinco hectáreas de milpa. Al iniciar la

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

temporada de lluvias, hacia fines de abril, comienzan las labores de limpieza de los terrenos. Hoy en día, las faenas agrícolas se han transformado en buena medida con la utilización de productos agroquímicos y la prohibición de la quema, que se realizaba después de rozar las parcelas. En su lugar, los campesinos de Ojo de Agua utilizan herbicidas para deshacerse de especies que consideran dañinas. Tras la limpieza del terreno, se efectúa el barbecho; en esta labor se emplea el arado tirado por una yunta de bueyes o, en su defecto, por un burro. El maíz se cultiva asociado con otros productos: calabaza, frijol, tomatillo y chile, mismos que forman parte fundamental de la dieta de la población local. La cosecha se hace en octubre; para estas fechas, las matas de maíz ya están dobladas y secándose.

Luego de la siembra de temporal, hacia finales del mes de octubre, inicia un segundo ciclo donde se siembra exclusivamente maíz. Este cultivo se conoce como de “riego”, aunque en el ejido no existe una infraestructura como tal. Esta práctica agrícola tradicional se conoce como *pul-há*, que en lengua tojolabal significa cántaro de agua, y consiste en el riego manual de los cultivos mediante una vasija. En noviembre termina el periodo de lluvias y comienza lo que se conoce como “temporada de secas”, coincidente también con un considerable descenso de las temperaturas.

Cabe destacar que durante esta temporada se experimenta una reducción de lluvias en el ejido pero, en términos estrictos, no deja de llover completamente. El nivel máximo de precipitaciones en este periodo es de 500 milímetros. Es la temporada de lo que se conoce como “los nortes”, lluvias ligeras acompañadas de drásticos descensos en la temperatura, que oscilan entre los 9 y 12 grados, fenómeno suele durar de dos a cinco días. Los nortes están asociados a los frentes fríos que se originan por lo regular en el Golfo de México, desde noviembre hasta abril. Por esta

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

razón, la práctica conocida como “siembra de riego” es marginal, ya que las bajas temperaturas y, en ocasiones la ausencia de lluvias, amenaza el buen término del ciclo productivo. No todos los ejidatarios asumen el riesgo de perder la cosecha, por lo cual esta práctica poco a poco se ha ido abandonando. La cosecha de este ciclo se levanta entre los meses de abril y mayo.

Las variedades de maíz que se cultivan son el criollo (amarillo) y aquella conocida como “Chapingo” (maíz blanco). Pero la población local prefiere el maíz amarillo debido a que es más resistente a las bajas temperaturas de la región. Dichas variedades se cultivan indistintamente, ya sea en el ciclo de temporal o de “riego”.

Como discutimos anteriormente, los primeros pobladores del ejido se enfrentaron con serias dificultades para desarrollar la actividad agrícola durante la primera década que precedió a la fundación de Ojo de Agua. En la década de 1950, de acuerdo con testimonios de los primeros pobladores, se pudieron obtener buenas cosechas de maíz y frijol. En la década de 1970, los pobladores tuvieron acceso al fertilizante:

Cuando vino el abono ya todo cambió. El abono comenzó a llegar como en 1975, porque en el año 1980 a 1983, el gobierno abrió un banco y una bodega para sacar el fertilizante, bajo crédito, porque se pagaba pues, trabajamos durante tres años a Bancrisa; yo era el comisariado ejidal entonces. Hubo cartera vencida, pero no se alcanzó a pagar toda la deuda . . . después de todos estos años comprábamos el abono, vino un programa, un proyecto de Procampo que nos empezó a ayudar. Cuando Miguel de la Madrid era presidente, formó un convenio de veinte años, y entonces nos ayudó porque ya cada año nos daba fertilizante. Entonces ya más adelante, con la ayuda de Procampo, hubo mejoramiento de la vida (entrevista con Jaime Pérez Jiménez, Ojo de Agua, 1o de diciembre, 2011).

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

El acceso a los fertilizantes significó un incremento en la producción agrícola en las parcelas de los habitantes del ejido. En la actualidad, la fertilización de los cultivos es imprescindible porque los suelos se encuentran agotados y estresados debido al alto uso de agroquímicos. Eso conlleva altos costos para los ejidatarios de Ojo de Agua y se suman, además, los costos de herbicidas. Se puede observar que entre los ejidatarios existe una dependencia creciente al uso de los agroquímicos, ya que los productores locales coinciden al considerar que, sin fertilizante, la cosecha no se logra.

Posteriormente, durante la década de 1990 comenzó a observarse un proceso de reconversión productiva en el área de Montebello, como parte de una ola de programas de apoyo a la producción agrícola, principalmente Procampo. A partir de este proceso se introdujo el cultivo de hortalizas, como tomate rojo y de cáscara, cebolla, pepino y chile. En Ojo de Agua, los productores incursionaron en los cultivos comerciales los primeros años del siglo XXI. Iniciaron con el cultivo de tomate rojo, gracias al apoyo y capacitación que recibieron del gobierno del estado de Chiapas a través de la Secretaría del Campo. Sin embargo, debido a los altos costos de los insumos requeridos por este cultivo, éste no prosperó en el ejido. Así explica Carmelino la experiencia en la siembra de tomate en el ejido:

Ya tiene tiempo que estamos en el tomate, como unos diez años. Pero digamos que en cuanto las tierras, no sé dónde vendrá la semilla que la tierra produce semilla en variedades, vamos a ver que hay tomatitos en la milpa, no sé cómo llegó. Entonces fuimos viendo que va a dar el tomate, cuando fuimos a oír que salió un apoyo de tomate, porque no sé a dónde sembraban tomate. Pero sí vino un apoyo, pues nos metimos en el proyecto de tomate. Entonces nos dieron semilla para poder sembrar aquí. Hicimos vivero. Y se hizo el vivero, pues la paga [dinero] nuestra salió y buscamos semilla; con los tomateros conseguimos de tomate rojo,

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

tomate criollo y verde. Hay varias semillas. Así fue como nos fue acercando las plantas de tomate. Pero el tomate rojo no pegó aquí muy bien. Sólo una temporada se sembró, como unos cuatro o cinco años, pero ya no se logró después, la tierra ya no dio. Más paga lleva el tomate rojo, pero como tienen esa paguita, probaron a sembrar el rojo. Pero fueron muchos que se levantaron con ese apoyo del tomate rojo porque se vendía muy bien, valía. Entonces procuraron sembrar, pero ahorita dejaron tirado el rojo. Porque vino a darnos un ánimo, después vino a dar una bajada, bajada, entonces como que fue habiendo más dificultad en la tierra, mucha infección, mucha plaga para el tomate. Y lleva mucho dinero. Por lo malo, lleva mucho dinero, es lo que se hizo es perder. Cambiaron de idea, los tomateros que eran de rojo, porque había muchas personas que de por sí procuran el tomate y le dio una ventaja grande cuando se pudo. Pero muy al principio el tomate rojo daba mucho. Yo también sembré como unas mis ochocientas matas. Viera usted como estaba, unos buenos tomates se dieron (entrevista con Carmelino Vázquez Gómez, Ojo de Agua, 15 de febrero, 2012).

De los cultivos enunciados anteriormente, el de tomatillo fue el que mayor éxito tuvo en el ejido y, en general, en los ejidos del área de las lagunas de Montebello, ya que tradicionalmente éste se ha cultivado como parte del sistema de milpa. Es preciso señalar que la práctica tradicional del *pul-há* se ha transformado en función de las condiciones del clima y las necesidades de la población local. Los ejidatarios de Ojo de Agua han sustituido el cultivo del maíz bajo esta modalidad por la siembra del tomatillo. Hoy, este cultivo se ha convertido en una importante fuente de ingresos para los productores. Otra razón por la cual este cultivo se intensificó en el área, es que su implementación implica una inversión considerablemente menor, comparada con la del tomate rojo. Nuevamente, Carmelino explica:

Hay que comprar el líquido, perder tiempo, fumigar cada tres o cuatro días, mucho más cuando el tiempo está mal. Hay que buscar el tiempesito. Hay que irlo a fumigar. Porque si no, con el frío le entra mucha plaga; hay que estar al pie con el tomate. Por

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

eso se tiene que gastar sus 1 000 pesos, 2 000 mil pesos de dinero, sacar dinero. Por eso, el que puede puede, y el que no, nomás no, y el tomate rojo es más caro todavía (entrevista con Carmelino Vázquez Gómez, Ojo de Agua, 15 de febrero, 2012).

En la medida en que el cultivo del tomatillo implica una inversión económica, la extensión y volumen de las cosechas varía dependiendo de la capacidad económica de los productores. El financiamiento para la producción del tomate no solamente proviene de los apoyos gubernamentales, sino también del trabajo temporal que algunos vecindados realizan fuera de la comunidad entre los meses de septiembre y enero.

El café se introdujo hacia la mitad de la década de 1980 en el ejido Ojo de Agua y, en general, en el área de Montebello, si bien esta zona no es tradicionalmente cafetalera por su clima frío, las transformaciones en el entorno natural, producto de la intensificación de la explotación forestal y la actividad agrícola, han propiciado condiciones para el establecimiento de este cultivo en pequeña escala. El café se cultiva bajo sombra en los solares de todas las viviendas de las comunidades de la zona, y su producción se destina a la venta y al autoconsumo. El periodo de corte inicia en marzo y se prolonga hasta el mes de mayo, que coincide con el periodo de corte de las tierras altas cafetaleras de Chiapas.

Cabe señalar que los campesinos de Ojo de Agua se mueven tanto en la lógica de la subsistencia como en la lógica del mercado. La milpa constituye una fuente de subsistencia que provee a las familias de alimentos de manera constante. Las familias experimentan con distintas posibilidades de producción, al contar con fuentes de financiamientos extra provenientes de los subsidios del gobierno y del ingreso obtenido del trabajo temporal fuera de la comunidad. Pero, asimismo, al tener redes de

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

conocimiento construidas a partir de programas gubernamentales de capacitación y apoyo técnico, lo que les permite intercambiar experiencias con productores de la región y, al mismo tiempo, experimentar con nuevos cultivos.

El desarrollo de las capacidades adaptativas, a partir de las prácticas productivas

Hemos discutido cómo, a partir de los procesos de apropiación del territorio y sus recursos, se transformó el entorno ambiental del ejido Ojo de Agua. Ello se observa en la diversificación de la producción agrícola y en el manejo de los bosques del ejido, lo que muestra la construcción social de la naturaleza desde la interacción y el desarrollo de prácticas productivas concretas.

La práctica de desmonte del bosque, como eje de la transformación del entorno natural, inicialmente para hacer milpa y establecer la zona urbana del ejido, permitió fijar la categorización y significación del entorno. A partir de ella, los ejidatarios pudieron diferenciar el espacio habitado, en el cual se podía intervenir y trabajar, del propio monte o la montaña; es decir, aquel espacio poco intervenido y controlado por la población. El espacio habitado incluye el área conocida como *ocotal*, referencia al espacio con el que guardan interacción directa y constante; es el área para la obtención de madera, leña y recolección.

El *ocotal* es, en realidad, el producto de la interacción de los productores con el bosque, ya sea a través de los procesos de roza-tumba o la explotación forestal. Un *ocotal* es, al mismo tiempo, parcela en descanso o acahual; o bien, el espacio sujeto al manejo forestal, aunque, cabe señalar, que la cobertura vegetal en cada caso es distinta.

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

La sustitución de la vegetación original por *ocotales* (pinos) inducidos por la actividad humana, también trajo consigo un cambio en la forma en la que los habitantes de Ojo de Agua se relacionaban con el bosque. Nos referimos particularmente a las actividades de recolección de palma y junco, utilizados en la elaboración de sombreros, morrales y cestas que los habitantes destinaban a la venta en el mercado regional. Esto cobró importancia paulatina hasta la década de 1990. En los primeros años del ejido, dicha actividad era la principal fuente de ingresos monetarios para la población del ejido, por lo cual se generó una notable escasez de ambas especies. Es posible que para las familias campesinas, la abundancia relativa de las especies vegetales mencionadas no hiciera urgente la necesidad de controlar su extracción, la que se realizaba básicamente en las áreas de vegetación que circundaba los centros de población. Hoy en día, es posible coleccionar dichas especies en las áreas de monte localizadas a un día de camino, ya sea desde Ojo de Agua o Yalmutz.

Las transformaciones ambientales en el ejido de estudio acontecieron en un contexto amplio de cambios en las condiciones ambientales de la cuenca río Grande-Lagunas de Montebello, cuya cobertura vegetal se vio drásticamente alterada, ya que ésta pasó de cubrir el 43.6% del territorio de la cuenca en 1975, a cubrir el 39.1% en 1993 y el 29.6% en el año 2000.

Cabe señalar que entre 1993 y 2000 se perdió el 3.7% de la vegetación del área debido, fundamentalmente, a los incendios forestales de 1998 (Kauffer *et al.*, 2010:38). Como consecuencia de ello, se transformaron las condiciones climáticas y en general el medio ambiente del área, lo que hizo posible la introducción de nuevos cultivos y la diversificación productiva en el caso particular que aquí se analiza. Así, el cultivo de tomatillo y

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

café, este último en los solares de las viviendas, poco a poco fue ganando terreno en el ejido. La diversificación productiva ha sido considerada por los habitantes del ejido como un factor crucial para la mejora de su calidad de vida. Con el tiempo, los habitantes de Ojo de Agua no solamente lograron adaptarse a las condiciones ambientales imperantes, sino también transformar su entorno natural mediante su práctica.

Paralelamente a la cultura local y sus potencialidades para emprender estrategias de adaptación ante el fenómeno de la variabilidad climática, el medio físico en el área de estudio presenta importantes ventajas para mitigar el cambio climático. La presencia de ecosistemas lagunares en su territorio y la cobertura de bosques de coníferas y mesófilos en el área, brinda ventajas comparativas para el desarrollo de actividades agrícolas, que en un contexto de aumento de temperaturas en la región, podría generar oportunidades productivas para la población local, si se hace un manejo adecuado.

En otra perspectiva, la conservación de los bosques mesófilos en el ejido bajo el esquema de pago por servicios ambientales constituye también una ventaja para el mantenimiento del equilibrio del medio ambiente local. No obstante, es preciso señalar que el ejido, al estar localizado en la parte baja de la cuenca río Grande-Lagunas de Montebello, es desde hace más de una década escenario de conflictos socioambientales, tal como la contaminación de los ecosistemas lagunares, por recibir descargas del río Grande que acarrearán agroquímicos y aguas servidas de la ciudad de Comitán. Esta problemática conforma una amenaza para el mantenimiento de los ecosistemas lagunares del área y puede resultar un problema de salud para los ejidos y comunidades localizadas en el área. Es preciso, por ello, desarrollar estrategias que atiendan los problemas ambientales de la cuenca en su conjunto.

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

A lo largo de siete décadas de existencia, el ejido Ojo de Agua ha desarrollado un sistema local de manejo del territorio y recursos naturales bajo dos modalidades: la agricultura y los recursos forestales. La exploración de la trayectoria del uso de recursos en el ejido pone en evidencia el desarrollo de un proceso adaptativo, bajo el cual han generado experiencias de conocimiento en torno al ambiente, que conllevan a diversos aprendizajes en torno a la naturaleza y su comprensión.

Este sistema de conocimientos y experiencias sobre la naturaleza incluye lo que se denomina “capacidad adaptativa”. La población local, en su proceso de interacción con el entorno natural, desarrolló una serie de prácticas de apropiación de recursos naturales, desde las cuales es posible establecer estrategias adaptativas para ajustarse y enfrentar las consecuencias del cambio climático (incluida la variedad climática y los eventos extremos), para así moderar los daños potenciales y enfrentar las consecuencias que dicho fenómeno puede tener en el sistema local.

Tales procesos adaptativos son la combinación concreta de medio ambiente y tecnología, lo que ha derivado en la existencia de un tipo particular de organización social y de instituciones locales, a partir de las cuales se establece la regulación de los procesos de apropiación local de los recursos naturales; es decir, la cultura (Steward, 2007). La cultura, entendida como un dispositivo de adaptación, aporta elementos para establecer estrategias locales con objeto de responder a las transformaciones de las condiciones climáticas derivadas del fenómeno denominado “cambio climático”.

Conclusiones

El estudio de caso aquí presentado muestra cómo, a partir de la exploración de las formas concretas de apropiación de la naturaleza mediante el desarrollo de sistemas productivos particulares, se pueden aportar elementos para diseñar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, teniendo como marco de referencia el contexto de cuenca hidrográfica.

El acercamiento etnográfico a las formas de interacción entre sociedad y ambiente presentado en este trabajo, permite mostrar cómo a lo largo de la historia del ejido de Ojo de Agua, su población se ha ido adaptando y transformado su entorno natural, han generado estrategias y prácticas productivas, que hay que resaltar, en un contexto de crisis y abandono del campo como el que vivimos en México, ha permitido a la población local mantener su arraigo a la tierra. Ello ha sido posible gracias a que la población del ejido ha desarrollado prácticas de apropiación y estrategias organizativas que le ha permitido mantener y reforzar su capacidad de decisión sobre el territorio y sus recursos.

En el contexto del cambio climático, resulta de gran relevancia observar las interacciones de la población local con su entorno natural para, a partir de ello, establecer estrategias de adaptación y mitigación acordes con los contextos y dinámicas de la población que habita sus territorios.

Bibliografía

Casanova, Lorena, Juan Pablo Martínez Dávila, Cesáreo Landeros Sánchez, Silvia Ortíz, Gustavo López Romero y Benjamín Peña Olvera (2016). «Responsabilidad social de la ciencia en la adaptación de la agricultura ante el cambio

Apropiación de recursos naturales en Montebello, Chiapas

- climático». En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14, pp. 2867-2874.
- Conde, Cecilia, Rosa María Ferrer, Carlos Gay y Raquel Araujo (2002). *Impactos del cambio climático en la agricultura en México*, México. INECC.
- Durand, Leticia (2002). «La relación ambiente-cultura en antropología: un recuento y perspectivas». En *Nueva Antropología*, núm. 64, pp. 169-184.
- Godelier, Maurice (1989). *Lo ideal y lo material. Pensamiento, economías, sociedades*, Taurus Humanidades, España.
- Haenn, Nora (2005). *Fields of power, forest of discontent. Culture, conservation and the state in Mexico*, The University of Arizona Press, United States.
- Harvey, David (2004 [1990]). *La condición de la posmodernidad. Investigación sobre los orígenes del cambio cultural*, Amorrortu Editores, Buenos Aires.
- Inegi (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*, México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Annex I*. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson (Eds.), Cambridge University Press United Kingdom and New York, USA.
- Kauffer, Edith, Ludivina Mejía y Antonieta Zárata (2010). *Plan de Gestión Integral de la Cuenca Río Grande-Lagunas de Montebello*, CIESAS-Conagua- Ayuntamiento Municipal de Comitán de Domínguez-Ayuntamiento Municipal de La Independencia-Ayuntamiento Municipal de La Trinitaria, México.
- Lefebvre, Henri (1991). *The production of space*, Editions Anthropos, Oxford.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Magrin, Graciela O. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina*, Estudios del Cambio Climático en América Latina, Santiago de Chile.
- Martínez, Polioptro, Carlos Patiño, Martín Montero, José Luis Pérez, Waldo Ojeda, Martín Mundo y Leonardo Hernández (2010). «Efectos del cambio climático en los recursos hídricos». En *El agua en México: cauces y encauces*, María Luisa Torregosa, Luis Aboites Aguilar y Blanca Jiménez (Eds.), Academia Mexicana de Ciencias-Conagua, México, pp. 529-562.
- Soares, Denise y Antonino García (2014). Percepciones campesinas indígenas acerca del cambio climático en la cuenca de Jovel, Chiapas-México. En *Revista de Antropología Social*. 39. pp. 69-89.
- Steward, Julian (2007). «El concepto y el método de la ecología cultural». En *Antropología. Lecturas*, Bohanan y Mark Glazer (Eds.), McGraw Hill, Madrid, pp. 334-344.





Ceremonia maya para pedir
lluvias y buenas cosechas,
cuenca del río Usumacinta,
La Independencia, Chiapas

Fotografía
Antonino García García

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

*Antonino García García,
Denise Soares y Antonieta Zárate Toledo*

Resumen

El calentamiento global se constituye en la actualidad como el mayor desafío que enfrenta la humanidad; sin embargo, las acciones internacionales y nacionales se han quedado en el papel y el discurso. En el presente trabajo de investigación analizamos el conocimiento empírico de comunidades indígenas y no indígenas en torno a las percepciones, manifestaciones, causas e impactos de fenómenos atmosféricos ligados al calentamiento global desde una perspectiva local, es decir, desde comunidades tojolabales (indígenas) y campesinas en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, en el estado de Chiapas, México. El devenir histórico-cultural determina la capacidad de resiliencia de las comunidades en el ámbito de la adaptación, ésta se constituye como un aspecto intrínseco a la cultura milenaria de sobrevivencia de pueblos y comunidades. Dentro de la cuenca identificamos que los planes y programas del gobierno mexicano en torno al cambio climático son un cascarón con demasiado ruido y poco contenido operativo.

Palabras clave. calentamiento global, cuenca, Chiapas, indígenas tojolabales, gobierno mexicano.

Introducción

El presente trabajo de investigación analiza las percepciones en cuanto a las manifestaciones, causas e impactos del fenómeno denominado calentamiento global en las actividades agrícolas de campesinos ubicados en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello (CRG-LM), en el sureño estado de Chiapas. Esta cuenca se puede definir como subcuenca cerrada o endorreica tributaria de la gran cuenca trinacional denominada Usumacinta. Considerando la información de tres temporadas de campo realizadas en 2016 y 2017 analizamos cómo los actores locales, principalmente productores indígenas, no indígenas y funcionarios gubernamentales en la zona perciben el cambio de clima local derivado del calentamiento global en las actividades cotidianas, las acciones que delinean de forma deliberada o por intuición para desarrollar estrategias adaptativas.

El capítulo se conforma por dos secciones generales; en la primera incluimos la introducción, la ubicación del área de estudio y la concreción del calentamiento global desde un marco teórico referencial de la ciencia occidental; en la segunda sección desarrollamos la percepción del cambio climático en el área de estudio desde múltiples miradas: Gubernamental, de comunidades indígenas tojolabales y comunidades no indígenas localizadas en la parte alta, media-baja, y baja de la CRG-LM. Cerramos el capítulo con las conclusiones.

El concepto de calentamiento global es un postulado *etic*, es decir, de una cultura externa, desarrollado a través de una concreción del lenguaje científico en un primer momento y posteriormente socializado en células documentadas de la sociedad. En lo local a nivel de productores campesinos e indígenas, el fenómeno de calentamiento global que deriva en el cambio de clima percibido

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

en esa escala debe ser abordado como un postulado *emic*, es decir, preguntar y analizar cómo se percibe, observa, interpreta y siente el impacto de variaciones en los periodos de lluvia, sequías, inundaciones, incremento de calor, temperaturas bajas que provocan heladas, cómo es el calor o temperatura del suelo (tierra), el objetivo es llegar a identificar esas variaciones o cambios y las consecuencias en los cultivos, cosechas y el aseguramiento de alimentos e ingresos para las familias, así como las estrategias de adaptación empleadas desde abajo con una base cultural de conocimiento territorial.

La gran mayoría de la sociedad del sistema mundo que conocemos en la actualidad abandonó la dependencia directa de la producción de alimentos en las zonas rurales, mediante un proceso paulatino que inició en la revolución industrial se fue concentrando en áreas urbanas desligándose del contacto con los ecosistemas, con el origen y sustento sociocultural e histórico de millones de años. En ese proceso el cambio cultural fue de raíces profundas en muy poco tiempo comparado con el desarrollo de la humanidad; la ciudad se constituyó como un espacio socialmente apropiado de construcción y reconstrucción permanente para controlar la naturaleza por los seres humanos a través de grandes obras grises (cemento). El poder de *hacer o construir* enajenó la mente e incrementó el ego de los seres humanos, se sustituyó lo natural por lo sintético; se despreció la función de la naturaleza (productos y servicios), se metió el chovinismo en los productos industriales sintéticos que tienen una huella ecológica alta.

La agri-cultura como una actividad esencialmente socio-cultural desarrollada en los últimos nueve mil años (Hernández X., 1998), debe ser analizada en el contexto del calentamiento global como un prisma de múltiples posibilidades de adaptación por una variedad de culturas en regiones naturales diferentes

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

distribuidas en todo el planeta. Las plataformas internacionales donde se discute el fenómeno de cambio climático son lineales y reticulares, abarcadoras y de receta planetaria; mientras las estructuras comunitarias locales son dendríticas y circulares en espacio y tiempo. El sostén o armazón de esas estructuras locales es la cultura y la historia de nueve milenios de generación e intercambio de conocimientos para producir y reproducir modos de vida.

La historia de la agri-cultura en nuestra área de estudio se corresponde con la de Mesoamérica, donde se inició hace 3500 a.C. la domesticación del maíz, frijol, chile y calabaza; el conocimiento genético de estas especies en su reproducción, siembra, desarrollo vegetativo y cosecha se combinó con el conocimiento de los tipos de suelo y su manejo, con los ciclos de lluvia y su temporalidad espacial, el uso y perfeccionamiento de técnicas de cultivo incluyendo el manejo del agua para riego a través de camellones y campos elevados.

El área de estudio en sus antecedentes histórico-culturales es parte de la región Tojolabal; los tojolabales son un grupo indígena cuya lengua deriva del tronco común mayense. En esta área es todavía común observar una mezcla de etapas histórico-culturales en los instrumentos de labranza y las técnicas de cultivo, por ejemplo en el sistema milpero se observa la *coa prehispánica* para la siembra de maíz, frijol, calabaza y chile; algunas familias también utilizan la yunta (par de bovinos machos o bueyes) para la tracción del arado egipcio introducido por los españoles en la colonia; los más “modernos” utilizan el invento derivado de la revolución industrial: la maquina (tractor) para hacer las labores de la agricultura; el tractor se mueve por la combustión de energía fósil (diesel), con su respectiva huella ecológica.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

La mezcla de cultivos en esta área también da cuenta de la diversidad de conocimientos ancestrales: El sistema milpa es prehispánico, la ganadería extensiva en montes y terrenos con pastos inducidos es colonial; el aprovechamiento forestal con planes de manejo es occidental y ha sido introducido por profesionales forestales en los últimos cincuenta años en la zona; el cultivo de jitomate y hortalizas es inducido a través de la denominada reconversión productiva de los últimos 25 años y se insertan en los denominados sistemas producto de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (Sagarpa). El objetivo de cultivar productos hortícolas, es la máxima ganancia monetaria a través de la productividad y rentabilidad, postulados éstos últimos de la globalización de los mercados y la economía en general. La producción de jitomate y hortalizas se hace mediante la aplicación de altas dosis de fertilizantes sintéticos, éstos son generadores de gases efecto invernadero.

Ante la diversidad desarrollada en un proceso de largo aliento, producto de la mezcla de etapas históricas, así como la propia diversidad en las actividades agrícolas y las técnicas de producción, no es posible la aplicación de prácticas de adaptación al fenómeno de cambio climático como recetas únicas. Si partimos del postulado que la concreción occidental del cambio climático es *etic*, lineal y reticular, entonces la pregunta que surge es: ¿cómo es posible tender los puentes para un diálogo con la concreción *emic* de las familias campesinas e indígenas que habitan los territorios apropiados de acuerdo a su devenir histórico-cultural? Es necesario realizar investigaciones puntuales como la presente que den cuenta de especificidades culturales e históricas a través de percepciones de la realidad actual. Las imágenes del territorio concreto se sostienen por la cultura construida y reconstruida de los pueblos en un proceso de largo aliento.

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Por cuestión de orden, en un primer momento abordamos de manera breve la ubicación geográfica de la CRG-LM; posteriormente centramos la mirada en el marco teórico conceptual del fenómeno cambio climático como concreción *etic*, mostramos aquí el acercamiento de las ciencias naturales y exactas, así como de las ciencias sociales; también analizamos en esta sección la percepción gubernamental de este fenómeno. Posteriormente apoyándonos en el trabajo de campo analizaremos la concreción *emic* a través de la percepción de las comunidades sobre el cambio climático; el objetivo es evidenciar el conocimiento empírico en cuanto a la percepción de las manifestaciones, causas e impactos del cambio climático en una escala local. Se observará como eje central de análisis lo percibido por la población local en los periodos de lluvia, sequías, inundaciones, incremento de calor, temperaturas bajas que provocan heladas, el calor o temperatura del suelo (tierra); así como los impactos en la producción agropecuaria desde un postulado *emic*.

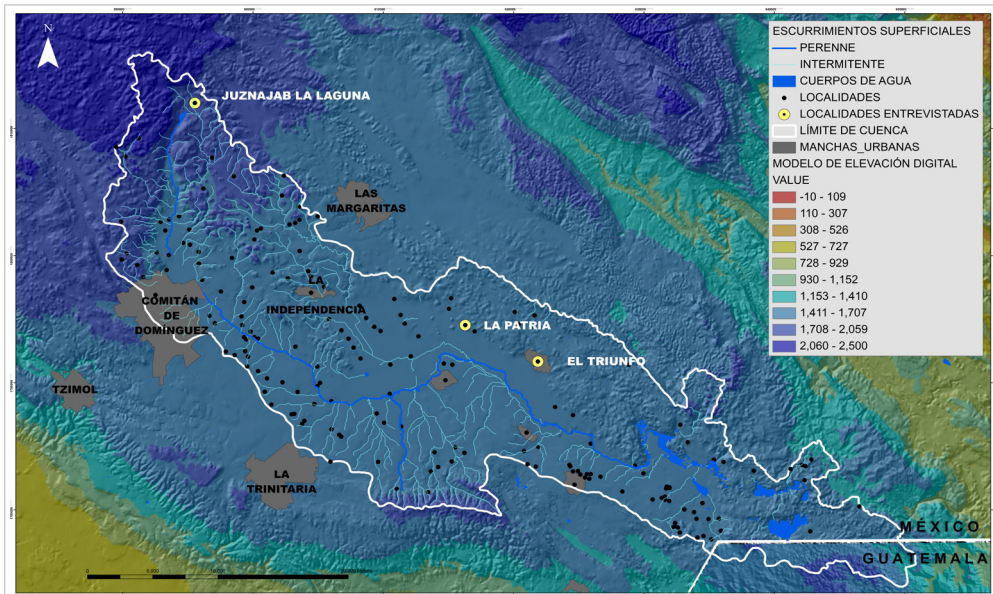
Ubicación del área de estudio

La CRG-LM drena de manera subterránea en el lugar conocido como Paso del Soldado hacia la parte alta de la cuenca Lacantún; ambas pertenecen a la cuenca conocida en México como Usumacinta, ubicada ésta en la gran región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta; la CRG-LM es la parte más alta del lado mexicano de la gran cuenca del río Usumacinta. La CRG-LM abarca una superficie de 76 205 854 hectáreas, de las cuales un 33.9% se encuentran en el municipio La Independencia, 33% en Comitán de Domínguez, 29.3% en La Trinitaria, 3.2% en Las Margaritas (los cuatro son municipios de Chiapas), y un 0.3% corresponde al departamento de Nentón, Guatemala, se ubica una comunidad de ese país dentro de la cuenca.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

Geográficamente la CRG-LM se ubica entre las coordenadas $90^{\circ} 10' 7.6''$ y $91^{\circ} 39' 41.2''$ de longitud Oeste y $16^{\circ} 04' 17.1''$ y $16^{\circ} 25' 30.8''$ de latitud Norte (Sagarpa - Firco, 2007). El rango de altitud va de los 1500 a los 2400 msnm, las partes más bajas son las aledañas al parque nacional Lagunas de Montebello y las más altas se ubican arriba de la comunidad Juznajab la Laguna en el municipio de Comitán de Domínguez.

Mapa 1. Cuenca Río Grande de Comitán-Lagunas de Montebello y comunidades entrevistadas.



Fuente: Elaboración propia, con el apoyo en SIG de Emmanuel Valencia Barrera (LAIGE-ECOSUR).

En la CRG-LM se ubican un total de 168 localidades que albergan a 144 375 habitantes; incluyendo una localidad y su población en la parte guatemalteca de la cuenca (ver cuadro 1).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Cuadro 1. CRG-LM, datos demográficos.

Municipio	No. de localidades	Población %
Comitán de Domínguez	59	71.0%
La Trinitaria	67	11.8%
La Independencia	35	16.9%
Las Margaritas	6	0.2%
Nentón, Guatemala	1	0.1%
TOTAL	168	144 375

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2010; Instituto Nacional de Estadística de Guatemala, 2010.

El promedio de precipitación en la CRG-LM es de 1 370 mm; el promedio nacional es de 900.7 mm y Chiapas tiene una media de 2 454.4 mm; así, en la cuenca se tiene un 34.25% más de precipitación que la media nacional y un 44.17% menos que la media estatal. Con estos porcentajes podríamos concluir que es una cuenca más o menos equilibrada en volumen de precipitación si no se presentaran alteraciones en el ciclo de precipitación por el calentamiento global.

Las temperaturas en la CRG-LM, en el periodo mayo-octubre, van de 24 a 27°C como máximas en las partes bajas, y de 9 a 12°C en las zonas altas y montañosas de la cuenca. En el periodo noviembre-abril, la temperatura más alta va de 21 a 24°C, y la más baja se mantiene en un rango de 9 a 12°C.

Geológicamente el área que comprende la cuenca es de origen sedimentario; está constituida principalmente por calizas cretácicas en el 62% del total de la superficie, las limolitas y areniscas del periodo terciario superior y el cuaternario representan un 19%, y los aluviones del cuaternario ocupan también el 19% de esta cuenca (INEGI, 1985). En su estructura, la cuenca presenta varias fallas geológicas, éstas se localizan en los límites norte y sur, así

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

como en el área de nacimiento del río Grande en la comunidad Juznajib la Laguna; también existe intensa fracturación de calizas en la zona del Parque Nacional Lagunas de Montebello (Pérez, *et al.*, 2007). En la CRG-LM se identifican suelos rendzina, litosol, luvisol, vertisol y feozem; los suelos se encuentran en constante interacción con factores de relieve, tipos de vegetación, regímenes climáticos y la hidrología, así como las intervenciones humanas en su dinámica de aprovechamiento de bienes naturales. El uso del suelo en la superficie de la cuenca se distribuye de la siguiente manera: Agricultura de temporal 57%, vegetación 41%, cuerpos de agua y áreas urbanas 2%. Es importante conservar las zonas de vegetación de la cuenca debido a que son sumideros de carbono naturales, es decir, ayudan a mitigar el calentamiento global.

La hidrología superficial de la CRG-LM se compone de una sola columna permanente, es decir, el cauce del río Grande de Comitán que alcanza un volumen medio anual de escurrimiento natural de 294.13 millones de metros cúbicos, de los cuales se estima que el volumen promedio disponible es de 290.49 millones de metros cúbicos de agua superficial (Conagua, 2007). La hidrología subterránea no ha sido suficientemente estudiada en la cuenca; la información general registrada es que existe un 52.8% de la superficie de la cuenca con unidades de material consolidado y posibilidades altas de encontrar mantos acuíferos de profundidad intermedia (100 metros promedio), también las unidades de material consolidado con posibilidades bajas representan el 28.5% de la cuenca (Pérez *et al.*, 2007).

La Conagua a través del registro público de derechos de agua (Repda) contabiliza 593 concesiones de agua en la CRG-LM, de las cuales el 71.2% corresponde al uso agrícola, el 23.6% al uso público urbano, el 2% al uso pecuario, el 1.7% a usos múltiples y el 1.5% restante corresponde a los usos acuícola, doméstico

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

y de servicios (Conagua, 2009). El uso agrícola tiene más agua concesionada: 12 042 058.28 m³, que representa el 44.58% respecto al total. El volumen de agua para uso público urbano registrado por el Repda alcanza los 12 020 955.64 metros cúbicos anuales, eso representa el 44.5% del volumen total concesionado en la cuenca (Conagua, 2009).

El grueso del volumen concesionado para fines agrícolas se concentra en la parte media de la cuenca, en las porciones que corresponden a los municipios de Comitán y La Independencia. Destaca el municipio de Comitán con 4 611 309 metros cúbicos, es decir el 38.3% del volumen concesionado en toda la cuenca para este rubro. La segunda zona de la cuenca con mayor volumen concesionado para el uso agrícola es la que corresponde a las comunidades que pertenecen al municipio de La Independencia con 4 334 515.80 metros cúbicos anuales, que representa el 36% del volumen destinado a este uso en la cuenca. El número de títulos de concesión registrados en esta área es de 222 de los cuales 208 corresponden al uso agrícola es decir el 97% de las concesiones registradas en el municipio, el 39.3% de las concesiones otorgadas y el 35.1% de los títulos de concesión para fines agrícolas en la cuenca. Es preciso anotar también que en las comunidades que pertenecen al municipio de La Independencia se localizan 7 unidades de riego cuyo volumen anual concesionado es de 1 789 040 metros cúbicos anuales.

La percepción que tiene la Conagua en documentos es que la CRG-LM es un área con amplia disponibilidad de recursos hídricos (Conagua, 2007). Esa percepción se sustenta en registros no del todo certeros dado que se tienen solamente indicios de suficiente agua subterránea, en agua superficial se tienen serios problemas debido a ciclos irregulares en la estacionalidad del ciclo de lluvias. La sequía de los años 2013 a 2016 ha dejado la

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

percepción a los habitantes de la cuenca que las cosas no están mejor que antes, eso se evidencia en los testimonios levantados en el trabajo de campo para esta investigación; la concreción del cambio de clima por parte de los habitantes indígenas tojolabales la abordamos en un apartado de este trabajo.

Las concreciones occidentales del cambio climático, una discusión teórico-conceptual

El calentamiento global se atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera del planeta; las descargas de gases contaminantes por la actividad humana a la atmósfera y la propia variabilidad natural del clima generan un gran ecosistema en caos y orden a la vez. En ese caos se observan periodos de tiempo comparables mediante la medición para delinear tendencias. El cambio climático es definido como “cualquier cambio en el clima, ya sea por su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana” (IPCC, 2008); en esta definición se omite la combinación de ambos procesos para generar el fenómeno de cambio climático.

Como proceso de largo aliento de cambio y continuidad el fenómeno de cambio climático se encuentra presente desde tiempos remotos sobre la faz de la tierra, es decir, es parte inherente del gran ecosistema planetario; recordemos por ejemplo, la evolución de la vida misma a través de las eras geológicas y los grandes cambios de clima, la extinción de grandes especies y la sustitución por especies de talla más pequeña producto de la recomposición climática y los procesos de adaptación; más recientemente las grandes sequías mayas del 400 al 900 d.C. que provocaron en esta civilización la desestructuración de sus formas de organización social y política (Ciudades Estado). Cabe

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

destacar que no existen evidencias de calentamiento global por actividades humanas antes de la revolución industrial.

La percepción del calentamiento global en su concreción occidental es de orígenes recientes, comparados con la evolución del planeta y en específico con la presencia del ser humano en este gran ecosistema. Hasta mediados del siglo XIX la ciencia dura intentaba explicar las glaciaciones como fenómeno natural sin que existiera un consenso; las dos hipótesis que se planteaban eran: la tectónica de placas y los cambios de la órbita terrestre; ambas de acuerdo al método científico no podían ser contrastadas con los hechos de forma que permitieran su refutación o un conocimiento preciso de lo sucedido.

Los antecedentes científicos sobre el fenómeno calentamiento global tienen como base las investigaciones teóricas del matemático Joseph Fourier, pionero en el estudio del flujo del calor; así como la investigación experimental de laboratorio realizadas por el científico británico John Tyndall en 1859, éste confirmó mediante resultados concretos que ciertos gases tenían la propiedad de ser opacos a las radiaciones infrarrojas, es decir, son gases que atrapan el flujo de calor emitido por la superficie de la tierra en la atmósfera. Dentro de esos gases se encuentra en primer lugar el metano (CH_4) y después el dióxido de carbono (CO_2), ambos se mostraron en el laboratorio de Tyndall tan opacos a la radiación infrarroja como planchas de cemento gris.

En la década de 1930 aparecieron las primeras informaciones sobre la tendencia a un calentamiento global detectado desde finales del siglo XIX. Guy Stewart Callendar (ingeniero especialista en vapor) dictó una conferencia en 1938 en la Royal Meteorological Society de Londres, éste presentó datos climatológicos detallados obtenidos de su afición a la meteorología que indicaban sin lugar

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

a dudas un calentamiento global; además sostuvo que la actividad humana concentrada en la quema de combustibles fósiles era la que originaba la descarga de grandes cantidades de gas CO₂, y ésta era la causa principal del cambio climático.

De mediados del siglo XX a la actualidad en la percepción científica del calentamiento global destacan las ciencias duras; éstas utilizan como herramienta los sistemas de procesamiento de datos estadísticos para medir e identificar tendencias. Las ciencias sociales tienen una contribución moderada a la explicación del fenómeno, su interés se centra más en la percepción del fenómeno en escalas concretas y en el cotidiano de los seres humanos.

Una percepción puede tener raíces de certidumbre o incertidumbre y para que sea aceptada socialmente es necesario que la masa (social), en un plano psicológico concreto, observe y procese mentalmente y además sienta corporalmente y sentimentalmente el fenómeno. La literatura reporta un alto grado de desconocimiento, mala interpretación y desinterés sobre el calentamiento global (Nisbet y Myers, 2007; Brachin, 2003; Dunlap, 1998); muy poca gente percibe las implicaciones, presentes y futuras del fenómeno en su vida diaria (Norgaard y Rudy, 2008; Leiserowitz, 2007). En efecto, la civilización en las ciudades de cemento se ha desconectado de los cambios de la naturaleza; en comunidades rurales e indígenas la percepción es diferente: el *ser* y *estar* se explica a través de una cosmovisión ligada completamente al cambio y continuidad de fenómenos de la naturaleza, en forma circular (por ejemplo los ciclos agrícolas, los ciclos lunares, el día y la noche, etc).

En la actualidad los hallazgos de la ciencia en torno al calentamiento global deben ser cosificados para la mayoría de la población, esta propuesta es de sentido común para obtener el apoyo de la sociedad. Cuando un problema se socializa

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

entonces empieza a competir con otros problemas para ganar más atención, legitimidad y recursos sociales (Hilgartner y Bosk, 1998; Lezama, 2008). Los temas ambientales tienen baja jerarquía en las prioridades de la sociedad, en comparación con asuntos económicos, seguridad, salud, educación y aspectos políticos. La jerarquización se encuentra en función de las necesidades socioeconómicas de las familias (Maslow, 1954), éstas otorgan mayor valor subjetivo -para objetivar materialmente- a aquellos aspectos que más carecen o que creen carecer (Inglehart, 1990).

En el fenómeno de cambio climático cobra relevancia el planteamiento de la construcción social de la realidad (Berger y Luckmann, 2008), la subjetividad que objetiva este fenómeno desde la visión científica es creíble por la sociedad cuando se tienden puentes de comunicación y las dos subjetividades (científica y de la sociedad) se amalgaman para dar origen a una tercer imagen que involucra a ambas. Al respecto (Meira (2009) señala que la información científica rigurosa, legítima, pertinente y de calidad sobre el calentamiento global, es sólo un factor entre otros que intervienen y que han de tomarse en cuenta. Es necesario observar los contextos socio-culturales en que la información es distribuida, recibida y recodificada, el perfil o los perfiles de las audiencias, los medios y las metodologías utilizadas para su difusión; así como las interferencias y los ruidos a los que se ve sometido cualquier *objeto* científico cuando pasa a ser también *objeto* de la cultura común. Es decir, es preciso conocer y reflexionar sobre los procesos psicosociales y culturales que transmutan la representación científica del calentamiento global en una representación social: una nueva imagen colectiva (científica y común) del fenómeno.

La ciencia como una construcción social de élite tiene el objetivo de analizar fenómenos de segmentos de la realidad para observar su génesis y comportamiento, ese objetivo no se puede trasladar

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

al común de la sociedad. En este sentido, González Gaudiano y Meira (2009) mencionan que por la vía de la alfabetización científica no se pueden modificar las actitudes y las disposiciones de actuación de la población en torno al calentamiento global; consideran que es una tremenda ingenuidad porque los procesos sociales no funcionan de esa manera. El ejemplo podrían ser los propios científicos del panel intergubernamental de cambio climático, éstos serían ciudadanos a seguir por su comportamiento pro-ambiental y la baja huella de carbono por tan solo pensar; el conocimiento por sí solo no genera el cambio, éste lo hace la masa social en lo cotidiano y en escalas manejables; las acciones cotidianas en la vida diaria sumadas en escala planetaria hacen posible el gran salto.

Las evidencias del calentamiento global son irrevocables para la ciencia por el sustento en método y metodologías como raíz de soporte en las cuales se erige. La evidencia para el grueso de la sociedad son los impactos del fenómeno a través de eventos que se pueden considerar no comunes en su frecuencia e intensidad: tormentas y huracanes; abundancia de precipitaciones pluviales en periodos cortos que provocan inundaciones, deslizamientos, desbordamiento de ríos y presas; nevadas intensas, olas de calor y sequías de duración inusual; presencia de vectores generadores de plagas y enfermedades que arruinan cultivos (pulgón en el sorgo, roya en café, entre otras). Así lo natural en el comportamiento de la naturaleza pasó a ser atípico dentro del caos en el que se mueve la atmósfera. En términos filosóficos y psicológicos el caos es orden y viceversa¹; la teoría del caos (Gleick, 2012) es un buen

1 En psicología la anormalidad es un estado alterado de conciencia y sirve a los seres humanos como alerta para regresar a la contención dentro de un rango de tolerancia razonables o de soporte de la vida en el medio familiar o social en el que se desarrolla la persona: El caos es parte del proceso de curación. En términos globales el cambio climático y las sacudidas del planeta con fenómenos anormales es parte de la alerta y el posible regreso a un estado normal dentro de los límites de tolerancia del ecosistema tierra, obvio este proceso el planeta lo va a hacer con o sin seres humanos.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

ejemplo de este planteamiento filosófico, también esa teoría en términos concretos permite identificar cómo y cuándo pasa un fenómeno de un estado normal a un comportamiento anormal.

El fenómeno de calentamiento global ha pasado de ser tema científico a centro de debate político y público en el siglo XXI (Giddens y Sutton, 2013); algunos eventos contribuyeron a ese salto: el Informe de 2007 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2008). Más recientemente la cumbre de París en 2015 donde alrededor de 187 países signan los acuerdos para bajar las emisiones de gases efecto invernadero; esta cumbre se recordará como la del *desacato* debido al debate anárquico a través de declaraciones bajo un estado alterado de conciencia del presidente de los Estados Unidos de América (Donald Trump), este personaje niega el fenómeno con claras intenciones políticas y económicas, no ha asumido el papel que le corresponde como presidente de un país que tiene altas emisiones de gases efecto invernadero. La película “Una verdad incómoda” de Al Gore (independientemente de los errores científicos que contiene) distribuida en medios de difusión masivos ha tenido de alguna forma efectos de mayor conciencia en la sociedad. El trabajo de la periodista Klein N. (2015), como experta en comunicación ha puesto en palabras claras y sencillas la evidencia del cambio climático y el sistema capitalista como generador de éste, así como la dinámica de máximo consumo y ganancias en el capitalismo que van en contra de las acciones de mitigación al cambio climático.

El impacto directo de algunos fenómenos que han generado desastres también contribuyeron para ampliar la conciencia de la sociedad: el Huracán Katrina en el año 2005 que dejó en ruinas New Orleans, una ciudad del país más poderoso del mundo; la ola de calor en 2003 que colapsó hospitales y viviendas dejando un saldo de 30 mil personas muertas en Europa.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

En México los recurrentes impactos de huracanes han dejado miles de muertos y desaparecidos en la geografía costera del país². En nuestra área de estudio los huracanes Mitch (1998) y Stan (2005) provocaron fuertes inundaciones, y más recientemente una sequía de cinco años continuos (2012-2016) que ha disminuido considerablemente la producción agropecuaria y los ingresos de la población, el resultado ha sido la migración de algunos miembros de familias con poca capacidad de resiliencia.

Los riesgos se distribuyen de forma dispar y son generalmente mayores para las personas y comunidades más desfavorecidas de los diferentes países, sea cual sea el nivel de desarrollo del país en específico. Los impactos del calentamiento global son heterogéneos en la sociedad, no solo dependen de la ubicación geográfica y las variables climáticas, sino también de aspectos culturales, sociales y económicos de las familias; una combinación de esos tres aspectos (en un grado positivo) incrementará la capacidad de resiliencia; en el caso contrario, es decir, una negatividad de esos tres aspectos generará vulnerabilidad en las familias. La vulnerabilidad más alta la tienen los países que producen menor cantidad de emisiones; los sistemas naturales y humanos de estos países serán más severamente afectados, debido a sus medios de sustento menos seguros, su dependencia de recursos naturales, su marginación y mayor vulnerabilidad al hambre y a la pobreza, entre otros (PNUD, 2008; IPCC, 2014).

Si partimos de la premisa que el calentamiento global principalmente es de carácter antropogénico en el sentido que las actividades humanas generan emisiones constantes y crecientes de CO₂, CH₄ y otros gases de efecto invernadero, entonces las

2 Los doce huracanes más destructivos en los últimos treinta años, son: Gilberto en 1988, Paulina 1997, Mitch 1998, Kenna 2002, Isidoro 2002, Stan 2005, Jova 2005, Emily 2005, Lane 2006, Wilma 2007, Dean 2007, Manuel e Ingrid combinados en 2014. El año 2005 fue record con tres grandes huracanes.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

ciencias sociales deberán tener un papel importante en el análisis de las causas y efectos del fenómeno. Sin embargo, son las ciencias naturales y exactas las que dominan el debate científico en la materia. Las ciencias sociales se han concentrado en analizar las actividades humanas (hábitos de producción y consumo) causantes del calentamiento global, así como en diagnosticar la vulnerabilidad de distintos grupos sociales y sectores a las variaciones climáticas y estudiar las percepciones sociales frente a dichas amenazas (Hogan, 2007).

Las ciencias naturales y exactas hacen aproximaciones del calentamiento global a través de análisis de los cambios en la atmósfera y su interacción a diversas escalas con el mar y el continente, se centran principalmente en escalas macro. La climatología en sus análisis ha llegado a la conclusión que el calentamiento global es el resultado de los gases invernadero que el ser humano ha esparcido en la atmósfera terrestre a partir de la revolución industrial, siendo el CO₂ el gas predominante, producto de la quema de fuentes de energías fósiles.

En los estudios de ciencias sociales se parte de la premisa que el concepto de clima es una construcción cultural, elaborada a partir de procesos materiales y simbólicos, de tal suerte que la conceptualización se deriva de la forma como las personas perciben, se apropian, interpretan y padecen los eventos meteorológicos y climáticos que ocurren a su alrededor. Cuando se deja de lado las dimensiones físicas del fenómeno, como la única manifestación del calentamiento global y se baja a una escala más local, se puede constatar que cada cultura tiene su propia percepción del fenómeno y la relaciona a cambio de clima en esa escala; las reacciones humanas al clima son variadas y están arraigadas en entornos culturales y contextos políticos, sociales específicos (Rossbach de Olmos, 2011; Mariño, 2011; Soares y Romero, 2008). La historicidad de eventos de rango anormal se construye y recrea en la percepción de las personas, en escalas

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

que abarcan el entorno de la vida material y espiritual de las mismas, esa experiencia va generando una especificidad cultural de reacción-adaptación.

La percepción ambiental es la forma como las personas se relacionan con el medio ambiente e integra aspectos materiales, psicosociales, históricos y socioculturales (Kuhnem y Higuchi, 2011). La percepción se encuentra directamente relacionada con el contexto en el cual se vive, de tal suerte que al experimentar el riesgo en el cotidiano, se conformará la percepción del mismo (Marson Teixeira de Andrade y Miccolis, 2012). En el mismo sentido Slovic (1987), abona a ese planteamiento al argumentar que existen factores cualitativos subyacentes a las percepciones de riesgo; esos factores son movilizados mentalmente para la evaluación del riesgo.

Para Maddison (2007) la relevancia de estudiar las percepciones radica en el hecho que la adaptación al calentamiento global es asumida por las personas a nivel local en la medida en que éstas perciban dicho fenómeno, es decir, cuando se subjetiva lo objetivo: impactos del fenómeno observados como cambio de condiciones de clima. En el mismo sentido Tuan (1980), argumenta que se debe partir de auto-comprender un fenómeno (subjetividad) para encontrar soluciones a los desafíos ambientales (objetividad); el calentamiento global es el principal desafío ambiental que la humanidad está enfrentando en el siglo XXI y en esa perspectiva es necesario auto-comprender, pensar, sentir y actuar individual y colectivamente.

Abordar el calentamiento global mediante el análisis de la percepción y la auto-comprensión individual y colectiva, a través de investigación de corte social, abona al uso y gestión sustentable de los bienes y servicios ambientales; se debe analizar cómo se incluye la participación social en la planeación y el desarrollo local (Whyte, 1977). El conocimiento local es un elemento central

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

en la comprensión de los mecanismos y las formas de adaptación elaborados por los agricultores en la búsqueda de alternativas para convivir con el cambio climático (Pinilla- Herrera *et al.*, 2012). La dimensión cultural que engloba los conocimientos locales son básicos en las discusiones contemporáneas sobre el clima (Ulloa, 2010, 2011a, 2011b, y 2013); en este sentido una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático deberá partir del conocimiento local para delinear propuesta concretas en esta escala y subir después a lo regional, nacional e internacional. En la actualidad se tiene una pirámide invertida en las políticas públicas en torno al cambio climático; la burocracia científica se ha acomodado a la burocracia internacional de corte ambientalista, economicista y política, es allí donde se toman las decisiones del mayor desafío de la humanidad, aunque en el plano local es donde se encuentran las acciones concretas y parte de las soluciones.

Investigaciones de escala local en el sector agropecuario campesino son de especial importancia debido a la inclinación de la balanza hacia las ciencias naturales y exactas; la agricultura es la concreción histórica de la humanidad en cuanto a alimentación y las formas de organización en sociedad. El cambio climático es eminentemente un proceso psicológico³, cultural y social, en

3 Es psicológico en la medida que involucra cambios de actitud, de ser y estar en la vida, de trabajar sentimental y mentalmente con el incremento del ego que implica una sociedad de consumo. En todo proceso psicológico la disminución o el encuadre de un estado alterado de conciencia se logra mediante la comprensión sentimental y al final mental del fenómeno en cuestión. La pérdida de conciencia de la vinculación del ser humano con la naturaleza, es el mayor desafío psicológico de la sociedad en la actualidad. Es necesario comprender y asumir que el capitalismo en la carrera de producción de mercancías (desechables en poco tiempo) y máxima ganancia en ciclos cortos es el responsable del 50% del problema del cambio climático; también comprender y asumir que el otro 50% corresponde a la sociedad impactada psicológicamente por medios de comunicación masivos para el consumo .de mercancías de forma irracional.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

los aspectos de mitigación y adaptación. Bjurström y Polk (2011) realizaron un análisis del tercer informe de evaluación del IPCC y muestran que un 88% de las referencias científicas revisadas para elaborar ese documento pertenecen a las ciencias de la tierra y biológicas (de ese porcentaje sólo un 2% son estudios sobre la agricultura), el 12% restante involucra investigaciones realizadas desde las ciencias sociales (la economía tiene un 4% de esas referencias). La agenda científica de análisis del cambio climático está determinada por académicos de las ciencias naturales ubicados en países con alta huella ecológica: el 80% son originarios o radican en los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico -OECD por sus siglas en inglés- (Hulme *et al.*, 2007).

La ubicación en las ciencias naturales y exactas de estos científicos, con su base estructural de análisis positivista, determina el fenómeno cambio climático como un problema ambiental; se excluye así las relaciones político-económicas, sociales, culturales, históricas, asimétricas y de escala del fenómeno. Ese tipo de estudios positivistas esconden el origen del cambio climático como resultado de relaciones de poder en el plano mundial, es decir, como resultado de asimetrías y desequilibrios estructurales en el ámbito mundial provocados por la lógica del capitalismo industrial de los países más desarrollados. Esta es una lógica encaminada a la extracción y el uso acelerado de recursos naturales en varias regiones del planeta, es lo que algunos autores denominan *extractivismo* (Gudynas, 2009, 2012 y 2013).

En efecto, los conocimientos generados desde el enfoque positivista son valiosos, necesarios y pertinentes, pero no son suficientes para entender y analizar las motivaciones que las sociedades agrícolas indígenas y no indígenas en los países pobres (en el sentido material) tienen para realizar o no acciones encaminadas

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

a la mitigación y adaptación al cambio climático. Por esta razón, investigaciones como la aquí presentada tienen pertinencia, en tanto abarcan escalas geográficas reconocidas por las familias que habitan ese espacio socialmente habitado, comparten una cultura agrícola común, los problemas socio-ambientales igual son comunes: sequías, inundaciones, incrementos de calor, temperaturas bajas (heladas), deforestación, contaminación de suelo y agua, entre otros.

La percepción del cambio climático en el área de estudio: múltiples miradas

En la CRG-LM existen percepciones diferentes en torno a manifestaciones, causas e impactos del cambio climático; la percepción es diferente para los funcionarios gubernamentales y también para y entre los campesinos e indígenas. En el caso de funcionarios el discurso del cambio climático se vincula con funciones y actividades relacionadas con programas y proyectos que ejecuta cada estructura gubernamental en un estado de aletargamiento y continuidad de lo mismo. Para los campesinos e indígenas el discurso varía de acuerdo a su ubicación dentro de la cuenca y a la actividad productiva que se dedican. A continuación desarrollamos las diferentes percepciones encontradas dentro de esta cuenca hidrográfica.

La percepción gubernamental del cambio climático: discursos de papel y realidades concretas

El gobierno mexicano es destacado en instrumentos legales y estudios en todos los campos de la vida del país; la cultura de los tres poderes de la nación es que los problemas se resuelven con ideas plasmadas en papel. En materia de cambio climático se ha realizado el acuerdo por el que se expide la Estrategia

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

Nacional de Cambio Climático (DOF, 03/06/2013), la Ley General de Cambio Climático (DOF, 06/06/2012) y sus modificaciones en junio de 2016; en esta ley se estableció la creación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) como organismo público descentralizado de la administración pública federal cuya cabeza de sector es la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

El Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 del gobierno federal, se constituye como el principal instrumento de política pública en la materia, el objetivo que se persigue es fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio climático e incorporar acciones de adaptación y mitigación con un enfoque sistemático, descentralizado, participativo e integral. Las estrategias de política pública en México se organizan en los siguientes ejes: gestión de riesgos hidrometeorológicos, manejo de recursos hídricos, biodiversidad y servicios ambientales; agricultura y ganadería; zonas costeras, asentamientos humanos; y generación y uso de energías (Soares y García, 2014:72).

El gobierno del estado de Chiapas fiel a la tradición de política de pirámide invertida también estructuró la denominada Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas (Congreso del Estado de Chiapas, 23/04/2013), se estableció en este instrumento que la Secretaría del Medio Ambiente e Historia Natural (Semahn), así como los municipios son autoridades en materia de cambio climático. Previo a este instrumento jurídico la Semahn, en conjunto con varias dependencias internacionales (Organización de las Naciones Unidas -ONU-), dependencias gubernamentales federales y estatales, organismos no gubernamentales y algunas instituciones académicas había elaborado en 2011 el denominado Programa de Acción ante el Cambio Climático del estado de Chiapas (Semahn,2011).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

La debilidad de los municipios en materia de cambio climático se evidencia en los planes de desarrollo municipal (2015-2018); en los municipios que tienen parte de su territorio en la CRG-LM resalta la no integración del concepto de cambio climático en los planes de desarrollo municipal, es el caso de La Trinitaria, La Independencia y Las Margaritas; se salva con media página escrita de forma enunciativa Comitán de Domínguez. En todas las entrevistas realizadas en la cuenca para esta investigación ninguna institución gubernamental y tampoco no gubernamental ha abordado el tema y acciones concretas para la mitigación y adaptación al cambio climático.

En la CRG-LM dentro de las actividades productivas ligadas a la dinámica del cambio climático están la agricultura, la extracción forestal y la conservación de áreas naturales protegidas. Para 'atender' esas actividades con programas y proyectos dentro de una política pública a nivel de piso en la cuenca se encuentran presentes estructuras gubernamentales del ámbito federal, estatal y municipal, así tenemos a : Sagarpa, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), Secretaría del campo (Secam) del gobierno del estado de Chiapas, las oficinas agropecuarias de las presidencias municipales y la Conagua como estructura federal que cumple un papel transversal en todas las actividades productivas y urbanas de consumo y saneamiento de agua. Se encuentra también instalado un comité de cuenca que realiza algunas funciones de coordinación de actividades de los tres órdenes de gobierno, así como de usuarios de agua registrados con títulos de concesión otorgados por la Conagua en la cuenca.

Las dependencias gubernamentales federales y estatales elaboraron amplios documentos, donde se pone sobre la mesa el fenómeno de cambio climático y las acciones que se deben implementar en el plano nacional y estatal. En el ámbito local a nivel de municipios no existen documentos y mucho menos acciones

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

enfocadas a la mitigación y adaptación al cambio climático. Los dos documentos que a nuestro parecer deberían abordar el fenómeno de cambio climático y no lo registran en ninguna de las partes que lo componen son: el plan de gestión de la cuenca Río Grande-Lagunas de Montebello (Conagua, 2009), y el programa de conservación y manejo del parque nacional Lagunas de Montebello (Semarnat-Conanp, 2007).

Analizando acciones concretas de las dependencias gubernamentales que pudieran encaminarse hacia la mitigación y adaptación al cambio de condiciones climáticas en lo local, observamos una clara ausencia y en el mejor de los casos acciones mínimas para mitigar los efectos de este fenómeno. En el peor de los escenarios algunas acciones de las dependencias gubernamentales contribuyen a incentivar el calentamiento global; algunas otras acciones con el simple posicionamiento de no realizarlas se contribuye a la generación de gases efecto invernadero.

En el plano nacional la Sagarpa elaboró el documento denominado “México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático” (2012); es un estudio lleno de proyecciones de escenarios, con pocas propuestas nacionales y ausencia de estudios regionales y micro-regionales. En Chiapas la Sagarpa ha trabajado impulsando el programa que lleva el nombre de *Componente Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA)*, a través del cual se ofrecen apoyos para construcción de pequeña infraestructura de captación y almacenamiento de agua, obras y prácticas de conservación de suelo y agua, actividades productivo-conservacionistas y elaboración y puesta en marcha del proyecto y soporte técnico. La CRG-LM tiene dentro de su área de captación 167 comunidades chiapanecas; con el programa COUSSA ha sido ‘beneficiada’ solamente una comunidad dentro de la cuenca, este es el impacto

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

local, así es como las buenas intenciones y propuestas quedan sólo en diagnósticos y proyecciones.

Es común dentro de comunidades de la cuenca la distribución de fertilizantes químicos con fines político-electorales de parte de los tres órdenes de gobierno, en una búsqueda rápida en la Web encontramos que la Sagarpa, el gobernador del estado y el presidente municipal de Comitán de Domínguez habían entregado a comunidades este tipo de insumos que contribuyen al calentamiento global (Diario Independiente de Comitán, 2016).

Una acción no realizada por la Sagarpa, la Secam y tampoco por las oficinas del ámbito agropecuario de los municipios es el extensionismo rural encaminado a la capacitación para el uso de agroquímicos. Las charlas de cómo usar los agroquímicos se realizan por los propios técnicos de las empresas que venden los productos, la mentalidad es de mayor venta y máxima ganancias, el resultado es catastrófico en contaminación de suelo, agua, salud humana (productor y consumidor de alimentos). La agroecología como práctica cultural de sustentabilidad para los ecosistemas y la salud de productores y consumidores, así como para la mitigación y adaptación al cambio climático, se encuentra ausente en el discurso y las acciones gubernamentales.

La Conagua también tiene documentos de análisis del cambio climático en el plano nacional e incluso iniciativas internacionales impulsadas por el gobierno mexicano en materia de agua y cambio climático, es el caso del Panel de Alto Nivel sobre el Agua (HLPW)⁴ de la Organización de Naciones Unidas (ONU), impulsado éste por el presidente de México en 2014. En la

4 El objetivo del panel es movilizar el apoyo para darle un nuevo enfoque al agua, el cual será la base de un planteamiento más sostenible para el desarrollo mundial - como se señala en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, y en particular el ODS 6, centrado en garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

COP21 en París, Francia, en 2015, se incorporó el tema agua en la firma del Pacto de París; así el proyecto del panel en cuestión se hizo realidad y fue lanzado oficialmente en enero de 2016 en el marco del Foro Económico Mundial en Davos, Suiza, siendo co-presidentes la República de Mauricio y México. El gobierno mexicano tiene varios liderazgos y en uno que destaca es la simulación internacional.

Pasando de los teatros internacionales vamos a la realidad concreta en la cuenca Río Grande-Lagunas de Montebello y el accionar de la Conagua en este espacio socialmente apropiado. Lo que llama la atención es que no existe absolutamente nada de análisis de información de variabilidad en precipitación y temperaturas en las estaciones meteorológicas e hidrométricas a cargo de la Conagua, la pregunta es ¿Cómo se pueden observar tendencias climáticas sin este tipo de análisis y proponer alternativas? El resultado es la ausencia de documentos analíticos sobre cambio climático en lo micro-regional, así como programas y proyectos enfocados a la mitigación y adaptación al cambio climático. Los proyectos impulsados son los tradicionales de los años 60 y 70 del siglo XX como receta nacional, esto es: manejo y conservación del suelo y agua (obras de control de erosión y drenaje parcelario), conservación de caminos y algunas actividades sin trascendencia de reforestación en muy pequeña escala.

En el trabajo de campo realizado para esta investigación hicimos la pregunta expresa si existían acciones concretas para atender el fenómeno cambio climático en aspectos de mitigación y adaptación, tanto a funcionarios de la Conagua en la cuenca como a productores organizados en la asociación civil de usuarios del distrito de temporal tecnificado 011 Margaritas-Comitán (coordinado por la Conagua), también la hicimos a los coordinadores del comité de la CRG-LM, a personas que aportaron su tiempo y conocimiento empírico en 27 entrevistas

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

realizadas, y todos sin excepción contestaron que no había tales programas o proyectos específicos, también manifestaron no tener información sobre el fenómeno cambio climático de parte de las instituciones gubernamentales.

Uno de los entrevistados manifestó la ausencia de programas o proyectos concretos para atender la emergencia del cambio climático, además pone sobre la mesa la preocupación del factor político en el quehacer gubernamental.

No hay programas o proyectos concretos para atender el cambio climático, acá abajo directo en los problemas uno se desespera porque la gente sufre, ahora en 2017 los proyectos de siempre de todas las dependencias se enfocan a las campañas políticas de 2018, no les preocupa el cambio climático, la gente hace propuestas pero no son escuchados . . . la sociedad mientras no se organice y presione no va a lograr que las instituciones hagan algo o cambiemos la forma de hacer las cosas (Testimonio, entrevistado 26).

El adormecimiento de las instituciones gubernamentales es letal en el plano micro-regional, en esta escala es donde se puede y debe actuar en lo concreto para atender la mitigación y adaptación a las nuevas condiciones climáticas. No parece inmutar a las estructuras gubernamentales, presentes en la CRG-LM, los 10 años de alteraciones en el ciclo de lluvia, la disminución de precipitación que ha provocado sequía durante tres años continuos (2014 a 2016), la desaparición del caudal del río Grande de Comitán en su parte alta de febrero a mayo de 2017, y su desbordamiento en la primer semana de julio de este mismo año que provocó inundaciones de parcelas agrícolas en 14 ejidos y 3 centros urbanos ubicados en la cuenca. Esta es la realidad concreta a nivel local, los discursos en plataformas internacionales del gobierno mexicano, son palabras huecas de un gigante con piernas de barro.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

En el parque nacional Lagunas de Montebello, específicamente en el lago denominado Tepancuapan el río Grande de Comitán descarga de manera subterránea, este lago a su vez se conecta con el sistema lagunar San Lorenzo (se compone de varios cuerpos de agua). En todo este sistema se puede observar la contaminación derivada del arrastre de drenaje de la ciudad de Comitán, el depósito de agroquímicos de las actividades agrícolas y suelo producto de los drenes construidos para sacar el agua lo más rápido posible y aprovechar las áreas desecadas para la agricultura. Cabe hacer mención que el drenaje de Comitán es depositado en una planta de tratamiento que no funciona, ésta se suma a la estadística nacional donde el 89% de este tipo de infraestructura no cumple con el objetivo asignado. Las plantas de tratamiento de aguas de drenaje como la de Comitán son generadoras de CH_4 ; el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos nitrogenados en la agricultura generan emisiones de óxido nitroso (N_2O), este gas que contribuye al efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento global alrededor de 300 veces más que el CO_2 y una vida de 120 años, su descarga representa a nivel mundial cerca del 8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. La fabricación de fertilizantes nitrogenados demanda una gran cantidad de energía; este tipo de fertilizantes se constituyen como el insumo con mayor componente energético de la producción agrícola, se llevan para su fabricación el 1% del consumo energético mundial (Bermejo, 2010).

La combinación de drenaje y el paquete irracional de agroquímicos en la cuenca, así como la dinámica de arrastre del río Grande de Comitán en el sistema lagunar San Lorenzo da como resultado el cambio de color del agua en los lagos de un verde turquesa o azul esmeralda a un amarillo verdoso o gris, con olores fétidos. En efecto, en 2008 se empezó a observar el cambio de coloración de la laguna Vuelta de Agua, igual en 2010 en las lagunas Bosque

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Azul y La Encantada; la presencia de natas blancas y amarillas flotantes en las lagunas con olores fétidos, la muerte masiva de peces y su flotación, y por supuesto el cambio de coloración de las lagunas encendieron los focos rojos. El cambio de color de las lagunas afectadas se llama químicamente *eutrofización* y se presenta por el incremento de descargas de fósforo y nitrógeno, lo cual provoca una reacción en cadena de nutrientes ricos para el crecimiento desmedido de algas que limitan la entrada de luz.

La primera institución en poner atención al foco rojo de cambio de coloración de algunas lagunas fue la residencia de la Conanp en el parque nacional Lagunas de Montebello, se hicieron estudios especializados contratando a instituciones académicas, se decretó por parte del Congreso del estado de Chiapas la instalación de una comisión especial para el rescate, protección, tratamiento y conservación del parque nacional Lagunas de Montebello; también la Conanp organizó varios festivales culturales para inducir a la población de los municipios Comitán de Domínguez, La Independencia, Las Margaritas y La Trinitaria, a tomar conciencia de la problemática.

Los estudios técnicos arrojan una serie de líneas a trabajar para corregir la problemática presente en la cuenca y sus impactos en diferentes lagunas del parque nacional Lagunas de Montebello. Se dice en los estudios que la presencia de organismos unicelulares y algas microscópicas se generan por las aguas residuales sin tratamiento, así como a los aportes excesivos de fertilizantes, agroquímicos y pesticidas utilizados en la agricultura en toda la cuenca; se presenta deforestación en la cuenca, se pierden 56 has promedio al año de bosques naturales maduros, eso genera erosión y acarreo de sedimentos a las lagunas; los incendios forestales han sido severos en el parque nacional, en 1998 se

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

perdió el 50% de árboles originales dentro del parque por un gran incendio; se presenta contaminación de cuerpos de agua por basura y aguas de drenaje; la proliferación de lirio acuático es desmedida, éste disminuye la capacidad de intercambio de oxígeno entre la interfase aire-agua y evita la transferencia de oxígeno y la penetración de luz al fondo del agua, con eso se cambia el potencial de hidrogeno (PH) y las cadenas tróficas; además el lirio acuático proporciona un hábitat ideal para la propagación de mosquitos y caracoles trasmisores de enfermedades.

El resguardo y la operación adecuada de los diferentes ecosistemas localizados dentro del parque nacional Lagunas de Montebello es importante por los bienes y servicios que proporcionan, es decir, el resguardo genético de flora, fauna y micro-organismos, así como por la absorción de gases de efecto invernadero, la regulación climática, el mantenimiento y producción de recursos hídricos, la conservación de suelos, la preservación paisajística, los recursos forestales maderables y no maderables que se aprovechan, el habitat donde se desarrolla la flora y fauna endémica y no endémica. También algo fundamental es la conservación del patrimonio biocultural e histórico del parque y su zona de influencia; las relaciones socioculturales de esa zona datan del año 50 a.C en el sitio denominado Chinkultic.

En una entrevista realizada en el parque nacional Lagunas de Montebello se habla de la poca coordinación de las instituciones gubernamentales para atender la problemática en la cuenca que afecta a las Lagunas de Montebello:

Es desesperante ver como la descarga de drenaje, la basura, los agroquímicos, los bancos de arena y grava, la deforestación y el cambio de coloración de las lagunas en vez de disminuir se van incrementando, mira creo que con comisiones y decretos no se solucionan las cosas, lo que se requiere es voluntad para

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

coordinarse y hacer cosas concretas, no se vale seguir descargando el drenaje al río y que la planta de Comitán no funcione, no se vale que se siga incentivando el uso de agroquímicos, no se vale que se siga deforestando la cuenca . . . parece que ahora no importa solucionar los problemas, se aprovechan los problemas para sacar provecho político (Testimonio, entrevistado 27).

La preocupación de personas que se encuentran directamente enfrentando la problemática no creen, al igual que muchas comunidades, que los problemas se solucionen mediante decretos y comisiones gubernamentales. De igual manera se pone sobre la mesa la no alineación de la política pública para atender objetivos y metas comunes; el factor político para aprovecharse y sacar ventaja de los temas o problemas ambientales también se pone de manifiesto, eso es grave en un estado como Chiapas porque se sangra aún más a la población que sufre los más altos rezagos de desarrollo humano del país.

La inercia del pasado en la mentalidad de las instituciones del ramo ambiental y agropecuario de los tres niveles de gobierno, es un obstáculo para la mitigación al cambio climático; se necesitan ideas y estrategias nuevas en un fenómeno que requiere coordinación de acciones a través de mentes creativas y disminuidas en el ego institucional.

La concreción del cambio climático desde el conocimiento empírico tradicional

Las comunidades ubicadas en la CRG-LM tienen una larga historia de apropiación socio-territorial que se sustenta en la cultura tojolabal; los auto-reconocidos como los *legítimos hombres* (Ruz, 1990). En la mayoría de estos núcleos de población se ha perdido la lengua tojolabal; encontramos en campo que sólo dos comunidades hablan tojolabal dentro de la cuenca, es el caso de

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

Juznajab la Laguna, municipio de Comitán de Domínguez, y la comunidad La Patria, municipio de La Independencia. Estas dos comunidades en su origen son tojolabales, actualmente algunas personas de mayor edad son las que hablan la lengua indígena; por esa razón las incluimos en la investigación en tanto mantienen tradiciones culturales de manejo y gestión de recursos naturales, sistemas de producción agrícola y forestal.

Por cuestiones metodológicas y para mayor representación de la población rural e indígena realizamos entrevistas en la parte alta, media y baja de la cuenca: un total de 27 entrevistas distribuidas en partes proporcionales. Consideramos además la ubicación de las comunidades hablantes de tojolabal, en este caso Juznajab la Laguna (municipio de Comitán de Domínguez) localizada en la parte alta de la cuenca y La Patria (municipio de la Independencia) en la parte media-baja; así como la comunidad no indígena denominada El Triunfo (municipio de la Independencia) en la parte baja de la cuenca. El análisis de la información de campo se presenta a continuación abordando primero la parte alta de la cuenca, posteriormente la parte media-baja, y al final la parte baja donde no existe población indígena; el objetivo es encontrar las dinámicas de percepción de la población indígena y no indígena en torno al cambio climático, así como la relación de los sistemas productivos con el deterioro de la cuenca.

Concreciones indígenas en la parte alta de la cuenca en torno al cambio climático

En las cuatro entrevistas realizadas en Juznajab la Laguna no se tiene interiorizado el concepto de cambio climático, es una característica que se detecta en las comunidades indígenas y no indígenas de la cuenca, en tanto concreción occidental. La población de Juznajab la Laguna hace el vínculo con los elementos del clima

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

a través de las actividades cotidianas para la producción agrícola y forestal. Es una comunidad donde las familias se dedican a dos actividades productivas: la milpa maya (en asociación maíz, frijol, calabaza, chile y tomatillo verde de cáscara) y la actividad forestal bajo manejo silvícola.

La percepción que tienen los entrevistados es que las lluvias han disminuido y son inestables en su estacionalidad y periodicidad, es decir, detectan que las precipitaciones de la época seca (enero-mayo) ya se fueron, también que las lluvias del periodo estable y permanente (junio-octubre) son menos y además inestables.

. . . . sí, por acá mire usted antes llovía más o menos comenzando el año y poco a poco la lluvia se llegaba y se llegaba hasta mayo, eso era poco a poco; también teníamos unas sus dos o tres grandes lluvias en medio de abril y luego en tres de mayo día de la Santa Cruz llovía mucho; el 15 de mayo día de San Isidro Labrador llovía que gusto daba a todos . . . y ahora ya no llueve nada, si los cerros no se enojan sueltan el agua en finales de junio (Testimonio, entrevistado 24).

En esta comunidad de origen indígena en su raíz cultural histórica se presenta un sincretismo religioso, se identifican fechas de la religión católica como referentes y al final el entrevistado menciona la relación de las montañas con el agua como seres vivos con conciencia ("*si no se enojan*"). En otra entrevista realizada en Juznajib la Laguna se menciona el periodo de lluvias de junio a diciembre y su frecuencia.

La agüita el tiempo bueno de lluvia empezaba en junio, ahora mire son pocas las nubes hay menos agua, si llueve pues llueve unas horas o unos sus tres días o una semana fuerte fuerte, luego se va una semana o dos, y luego la canícula de hasta un mes completo, se jode pue la milpa; que recuerde yo eso hace como sus ocho años pasa (Testimonio, entrevistado 21).

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

Se identifica la cantidad y la estacionalidad de las lluvias, además la memoria de cuándo empezó el descontrol climático y su impacto en la producción de alimentos en el sistema milpa. Otro testimonio relata la percepción de menos lluvia y más calor a través del conocimiento del follaje del bosque y las aves.

La lluvia es poca, los árboles se ponen tristes por la poca agua, las hojas se ponen como ceniza en enero y así hasta junio, luego ya son verdes, mire esos robles y ocotes se ponen tristes falta su agua, su comida . . . eso no se miraba en antes, en antes todo el bosque era alegre; hasta los pájaros buscan su agüita en las casas de nosotros, tienen sed (Testimonio, entrevistado 23).

En la comunidad Juznajab la Laguna se tiene una conexión espiritual con un cuerpo de agua denominado localmente como 'Laguna Juznajab', se le considera sagrado en tanto tiene un dueño (San Mateo); uno de los testimonio menciona esa relación con la laguna.

La laguna se encoje como cansada, la montaña da poca agua desde como 10 años, poco a poco su velo se va haciendo chiquito; mire antes llegaba hasta la orillada de las casas y ya no, ya se encogió la casa de enamorarse se hace chiquita, chiquita y hasta el camino pasa una su parte en la orilla como culebra de tierra, antes eran culebras de agua y ahora de tierra, es tristeza; que queda seguir a San Mateo y la ceremonia y la caminata . . . (Testimonio, entrevistado 24).

En este testimonio se hace referencia a la relación de la montaña con la laguna, es decir, a la recarga hidrológica a través de la cubierta vegetal; también se dice de alguna forma cómo ese espacio sagrado destinado para enamorarse se va reduciendo. En maya *Junsaj óol* significa enamorar y *Naj* casa, se dice por los pobladores que Juznajab significa casa para enamorarse. La población de toda la cuenca debería enamorarse de esta laguna

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

y cuidarla en tanto es la matriz que da origen al Río Grande de Comitán, éste a su vez es la columna central de toda la cuenca; además de esta laguna bombean agua para uso doméstico cinco comunidades aledañas. Para los tojolabales San Mateo es el dador y a su vez el que cuida el agua; las ceremonias y la caminata se hacen de la zona tojolabal a San Mateo Ixtatán, Departamento de Huehuetenango, Guatemala; este poblado es el corazón de la lengua Chuj y son primos hermanos histórico-mayenses de los tojolabales.

La percepción del origen del cambio climático se sustenta en tres concreciones, se dice que Dios manda y decide que hacer en torno a los elementos de la naturaleza, también que los cerros, montañas y cuerpos de agua (lagunas, manantiales y arroyos) están enojados; se hace referencia a las actividades de los seres humanos como las generadoras de las alteraciones de la variabilidad climática.

Todo lo manda Dios, contra su voluntad mire no se puede; mire la lluvia el calor todo, tanto el viento, y la enfermedad de la milpa esa es por la tierra más caliente lo manda Dios, sólo tenemos pues prestada la vida (Testimonio, entrevistado 24).

Si también los dueños del monte y el agua se enojan cuando no pedimos su permiso, allá en la montaña están espirituales [espíritus] buenos y malos . . . los buenos cuidan la montaña y el agua; los malos es el chaneque de fuego y quema la montaña, también está Xinalniha' vive en la laguna si tiramos basura jala y hoga [ahoga), también seca ríos y ojos de agua; el Nejk'eltzi que se llama Cadejo es el más malo en la noche; se enojan entre ellos y viene la maldad . . . (Testimonio, entrevistado 21).

Nosotros no podemos enojarnos en la comunidad y cortar árboles cada uno, no, aquí pues hay acuerdos para el proyecto forestal. . . otras comunidades se enojan y cortan la montaña y no piden su permiso a los dueños del monte y la comunidad. Nosotros somos mismos culpables por cortar árboles por eso hay poca agüita y más

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

calor que quema la cabeza, el cuerpo. . . no se diga el ventasal [viento] llega como corriendo con fuerza y chinga la milpa; . . .K'aku (el Sol) y Jxaw (la Luna) se enojan con nosotros; mire usted el sol es calor y seca la milpa y el monte cenizo, ya mismo la luna manda más plagas el gorgojo en el mais [maíz] y frijolito (Testimonio, entrevistado 23).

La racionalidad de las familias tojolabales en cuanto a las causas e impactos del cambio climático es abarcadora e incluyente, se mezclan los tres planos de interacción que componen el universo, donde habitan seres sobrenaturales. El primer plano es el cielo (*satkinal*), donde vive Dios (*K'awaltic*), Santa María (*Nantik*), el sol (*K'aku*) y la luna (*Jxaw*). El segundo plano es el espacio terrenal (*lu'umkinal*) y se conforma de tierra caliente (espacio geográfico donde hace calor) y la tierra fría (donde la temperatura es baja) y el mar; en este espacio viven los santos que representan a Dios y los hombres. Para los tojolabales los santos son los fundadores de las comunidades, éstos apoyan a los hombres en sus necesidades de maíz-milpa, agua, salud, animales y no conflicto; en este plano viven seres malos que castigan a los hombres que no obedecen y cometen faltas contra la comunidad. El último plano es el inframundo (*kiknal*), es el lugar donde habita el sombrerón o dueño del monte (*Pukuj*), es un personaje muy malo y temido, sus aspecto es parecido a los hombres mestizos o *kaxlanes* (Ruz,1983).

Concreciones indígenas en la parte media-baja de la cuenca en torno al cambio climático

En las entrevistas realizadas en el ejido la Patria, municipio de la Independencia, ubicado en la parta media-baja de la cuenca, es interesante como las familias tojolabales perciben las manifestaciones, las causas y los impactos del cambio climático; la percepción se hace básicamente relacionando el periodo de lluvias con los sistemas agropecuarios y la disponibilidad de agua

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

para uso doméstico, así como su participación en las romerías al municipio de La Trinitaria Chiapas y San Mateo Ixtatán, Departamento de Huehuetenango, Guatemala, en el periodo de marzo a julio para pedir agua en las cuevas, cruces en el camino, cerros y puntos específicos durante el trayecto.

Mire aquí en la Patria hace unos sus 20 años llovía de mayo y a octubre tanteado tanteado, esa era pue la lluvia fuerte, después tanteadito de febrero a mayo y se sembraba el Pul-há en la humedad, eran pue sus dos cosechas, la del verano y la pul-há; y ya se terminó el pul-há ya no llueve (Testimonio, entrevistado 3).

. . . .no llueve en febrero a mayo, luego las nubes llegan y se van como que se espantan de la calor, hace mucho calor y quema el cuerpo, trabajamos más temprano como 6 de mañana, las 12 o 1 ya no se aguanta la calor (Testimonio, entrevistado 7).

El sistema de cultivo Pul-há, es de origen prehispánico, se establecía en zonas bajas con humedad; la semilla de maíz se depositaba en el suelo húmedo para que germinara, se aprovechaban alrededor de 150 mm de agua que se distribuían entre enero y mayo, además cuando la planta entraba en estrés por falta de lluvias se regaba con un poco de agua en cántaro o cubeta; actualmente con el cambio climático no llueve lo suficiente, el suelo no guarda humedad, se ha perdido un sistema productivo cultural de varios siglos. La manifestación del cambio climático es importante y el impacto se constituye como devastador en el sentido que se disminuye la cantidad de alimentos para los productores indígenas y no indígenas de la cuenca.

. . . .la tierra se puso caliente, la tierra se bebe el agua tiene su sed, la milpa se entristece se pone como ceniza, chinga la milpa por la plaga del gusano; antes la lluvia como sus 18 años bien, y no nomás hora [ahora] pura secas tiene como sus cuatro años seguidos no llueve parejo, poca comida tenemos . . . (Testimonio, entrevistado 10).

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

En efecto, las lluvias de mayo a octubre para atender el ciclo agrícola primavera-verano han sido atípicas de 2013 a 2016, se presentaron tarde hasta julio, por franjas en todo la cuenca hidrográfica; además otra característica es la variabilidad al interior del ciclo de lluvia, se concentra la precipitación en una semana y deja de llover dos o tres semanas.

. sí, en antes los abuelitos rezaban tenían más su fe los jóvenes hay Dios, no saben, de muchacho yo iba una su semana a romería a Trinitaria y Guatemala hora [ahora] llevo a hijos; los muchachos hora [ahora] puro su celular, televisión y ese su juego de pelota de fut (Testimonio, entrevistado 14).

Pos qué vamos a hacer con Dios, él lo manda todo; y nosotros también tumbamos árboles y mucho su químico en la milpa y el tomate somos culpables, mire aquí no hay árboles antes sí . . . sólo las romerías pueden ayudar a tojolabales es pue nuestra creencia [creencia], los crencipales [principales-rezadores] saben pedir la agüita saben el costumbre, en los últimos años unos sus 10 años rezamos más en la romería pa pedir la agüita porque luego no llueve, se enojan los dueños y no mandan la agüita, sí pue (Testimonio, entrevistado 12).

La concreción de las causas del cambio climático se compone de elementos sobrenaturales y terrenales para los tojolabales, la respuesta es continuar de manera más enfática en la tradición de organizar y hacer las romerías. Para trazar una ruta de mitigación y adaptación al cambio climático en esta cuenca, un elemento cultural central a tomar en consideración serían la romerías donde participan indígenas y no indígenas; en estas ceremonias se ofrecen rezos, velas, aguardiente y flores y se pide para recibir agua suficiente, cosechas y bienestar de las comunidades a través de salud y no conflicto. Se establece así una compensación de la vida bajo el principio de buenas relaciones, sustentado éste en el equilibrio de dar y recibir.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Ese principio por desgracia se encuentra desequilibrado en la política pública y en la respuesta de algunas familias dentro de la cuenca.

Concreciones no indígenas en la parte baja de la cuenca en torno al cambio climático

La información de campo levantada en la parte baja de la cuenca corresponde al ejido El Triunfo, municipio de La Independencia; éste es un centro de población rural de los más grandes en la cuenca donde viven 5 224 personas, es decir, más población que la propia cabecera municipal. Este ejido presenta un crecimiento vertiginoso en los últimos treinta años tanto en población como en 'conocimiento agrícola químico'; se ha transitado de producción bajo el sistema de milpa maya a la producción de jitomate rojo (tomate dicen los productores) con fines comerciales. Esta comunidad es un laboratorio de cambio socio-cultural en la cuenca en un lapso de tiempo relativamente corto, podemos asegurar a través de la información de campo recabada y analizada que los habitantes de este centro de población son los más impactados en la pérdida de conocimiento tradicional en torno al cambio climático. Su nivel de resiliencia por la pérdida de conocimiento tradicional es bajo en torno al cambio climático; prácticamente todas las acciones para enfrentar este fenómeno en la agricultura se concretizan a controlar las variables agua, fertilidad de suelos y control de plagas, mediante sustitutos químicos que generan más descargas de gases efecto invernadero.

La manifestación de ciclos cortos o irregulares de lluvia se ha sorteado a través de la perforación y mayor profundidad de pozos; el agua se saca en promedio a 150 mts del subsuelo; la energía eléctrica de las bombas de los pozos es producida por la

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

Comisión Federal de Electricidad (CFE) y como se sabe ese proceso es generador de gases efecto invernadero (CH_4 en hidroeléctricas y CO_2 en plantas que trabajan con derivados de petróleo).

Fijese que antes va usted a ver no teníamos necesidad de los pozos, había agua pues bastante en el río y las norias daba gusto a 10 metros tenían su agüita, pero luego se fue acabando y la sequía de los últimos cuatro años jodió los cultivos, no quedó de otra que perforar los pozos para regar el tomate y la milpa”(Testimonio, entrevistado 1).

En muy antes los abuelos dicen que había mucha lluvia, se inundaban las tierra y los cultivos hasta que la comisión [Conagua] hizo los drenes los manantiales de aquí arribita del cerrito en la cueva tenían agua, esos se secaron hace como sus 15 años, ya el agua de la llave no viene de allá, ahora es de pozo (Testimonio, entrevistado 6).

La política de drenar áreas de humedal se realizó con una visión productivista en toda la república, es decir, se quitó el agua a la tierra y ahora con el cambio climático se mete agua subterránea a las parcelas agrícolas: se tapa un hoyo y se abre otro, una política púbrica de topo (*Scalopus inflatus*).

Con el drenado de zonas de inundación se quitó también fertilidad a los suelos debido a que los limos ahora no son depositados en los bajos, el río los arrastra y se depositan en la entrada de las Lagunas de Montebello. En el ejido el Triunfo se tienen suelos pobres también por el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos nitrogenados en los últimos treinta años, como dice un entrevistado *la tierra ya no da*.

Es difícil la producción de milpa y no se diga el tomate, es mucho gasto de dinero en fertilizantes y químicos pa las hierbas y los insectos, la tierra ya no da sin químicos; ahora la sequía y el pago de energía eléctrica para sacar agua, ya no sale suficiente pa sostener la familia (Testimonio, entrevistado 11).

La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático

Como se mencionó en el sub-apartado anterior los fertilizantes sintéticos nitrogenados son generadores de emisiones de N_2O , es un gas que contribuye al efecto invernadero y tiene un potencial de calentamiento global alrededor de 300 veces más que el CO_2 y una vida de 120 años. En este ejido los suelos se encuentran tan deteriorados que la estrategia de los productores de tomate (jitomate rojo) es salir a rentar tierras en otros ejidos; en la lógica de los productores y de las instituciones gubernamentales del ramo agropecuario bajo esa estrategia se soluciona el problema de la producción. No se analiza el daño al ecosistema de la cuenca con la descarga de aguas y suelos súper contaminados a las Lagunas de Montebello, es una lógica productivista de máxima ganancia económica.

En cuanto a la percepción de las causas del cambio climático se dice que el uso de agroquímicos contribuye a este fenómeno, la deforestación y los incendios de rastrojos y bosques, se culpa a los otros de la presencia de perturbaciones del clima.

Hace como sus diez años que empezó a cambiar la lluvia, hay años que llueve poco y luego cuando llega el aguüita se arrecia mucho y se va pronto, son sus tres o cinco días fuerte y se va sus dos semanas, tal vez la culpa es de los químicos que se usan y los árboles que tiran las comunidades de allá arriba, no se diga si prenden su fuego a la caña seca del mais [maíz] y las quemas del monte en marzo y abril pa sembrar cuando llega el agua (Testimonio, entrevistado 8).

En la cuenca se observa el daño que hacen las personas que viven cuenca arriba, no se mira el daño que hacen las familias del ejido El Triunfo cuenca abajo; el cambio de coloración de las Lagunas de Montebello es resultado de la contaminación generada por todos en la zona rural y urbana. Esa apreciación no quiere decir que sea errónea, simplemente es necesario preguntarse cómo

cada uno de los seres humanos en el planeta contribuimos a este fenómeno de trascendencia global.

Conclusiones

La percepción del cambio climático es diferenciada en tanto construcción social de la realidad; las ciencias naturales y exactas, las ciencias sociales y humanísticas, las religiones del mundo y los sincretismos religiosos son construcciones sociales sustentadas en la cultura y la historia de los pueblos.

El conocimiento de las ciencias naturales y exactas occidentales son avasalladoras en el fenómeno de cambio climático, las ciencias sociales tienen un papel marginal; el conocimiento empírico de pueblos y comunidades no se encuentra escrito en el lenguaje o lenguajes históricos de conquista y sometimiento; ese lenguaje se crea y recrea mediante la palabra y la práctica directa transmitida de generación en generación. El lenguaje científico crea y recrea la construcción social del cambio climático; la interpretación y comunicación de este fenómeno se transmite de forma autoritaria a escalas macroregionales, países y microrregiones.

En efecto, los postulados *etic* deben abrirse a la comprensión del abanico de posibilidades de conocimiento local, es decir, a la concreción *emic* de pueblos y comunidades en la percepción del cambio climático. Las comunidades dedicadas a las actividades agropecuarias y forestales, tanto indígenas como no indígenas, mediante ensayo y error han mantenido una tradición de nueve mil años de experiencia de adaptación a cambios de clima en su devenir histórico-cultural.

Los postulados *etic* de las ciencias occidentales en torno al cambio climático deben ser tamizados en el plano nacional y microregional

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

mediante un lenguaje sencillo de entendimiento local. Los ejes internacionales enfocados a la mitigación y adaptación al cambio climático no se pueden sostener en las plataformas de los países solamente con leyes rectoras y documentos con datos subidos en la Web, con bonitas fotografías y buena edición, se necesita concretar acciones en el plano microregional y comunitario mediante puentes de comunicación con lenguaje sencillo; esas acciones deben tener la capacidad de retroalimentarse mutua y constantemente en una proceso de ida y vuelta donde los resultados no son la suma de los dos conocimientos, son ante todo el resultado de múltiples interacciones de dos formas de percibir el mundo. En ese proceso generador de interacciones se parte del principio de igualdad y respeto, no existe entonces una supremacía del conocimiento externo sobre el interno y viceversa.

En la presente investigación queda de manifiesto la inexistencia de acciones concretas de las instituciones gubernamentales en torno al fenómeno de cambio climático; se evidencian documentos internacionales, nacionales y estatales de análisis del fenómeno, solamente *faltan acciones locales concretas*. La concreción del cambio climático vía documentos y plataformas discursivas en México no abona a detener este fenómeno que se considera el más grande reto que enfrenta la humanidad en la actualidad.

Los actores gubernamentales locales perciben una realidad compleja en la CRG-LM, se nota hasta cierto punto un hartazgo de las decisiones verticales de sus superiores y de la dinámica de documentos de diagnóstico y de marcos normativos en torno al cambio climático. Esa concreción local gubernamental debe ser escuchada y tomada en cuenta en tanto se encuentra a nivel de piso con los problemas enfrente en su quehacer cotidiano. No se puede seguir con la dinámica de la revolución verde en el sector

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

agropecuario utilizando grandes cantidades de agroquímicos; las soluciones han sido probadas en diferentes partes del mundo y son: las prácticas agroecológicas, la agricultura orgánica y la agroforestería; las tres sustentadas en la combinación de conocimiento comunitario con el científico.

Las concreciones del cambio climático en comunidades indígenas y no indígenas se subjetivan de acuerdo al nivel de aculturación en el proceso productivo y organizacional. Mientras los tojalabales en la parte alta y media-baja de la cuenca se mueven en tres planos de interacción cosmogónica (el cielo *-satk'inal-*, el espacio terrenal *-lu'umkinal-*, y el inframundo *-k'ik'nal-*), en una mezcla de sincretismo religioso donde San Mateo y San Miguel son santos que representan a Dios en la tierra para los aspectos relacionados al agua; los no indígenas se mueven en el plano de la eficiencia y la productividad agrícola utilizando el modelo industrial de agricultura comercial. En la producción de tomate (jitomate) se utilizan grandes cantidades de agroquímicos, la asesoría técnica se proporciona por las mismas empresas que venden esos productos y la hacen con una lógica de mayor venta de productos tóxicos; los efectos para los ecosistemas de la CRG-LM son catastróficos, el ejemplo local es el cambio de coloración de las Lagunas de Montebello. En esta cuenca se suma la descarga de drenajes al río Grande de Comitán, los incendios en bosques y las quemas agrícolas, la deforestación, entre otras prácticas que contribuyen al calentamiento global.

De manera contundente podemos concluir que no existen políticas públicas para atender el calentamiento global en el plano local de parte de las estructuras gubernamentales de los tres niveles de gobierno. Que las comunidades indígenas hacen lo que siempre han venido realizando en su devenir histórico-cultural: adaptarse a las condiciones climáticas en constante cambio utilizando los

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

recursos materiales e inmateriales heredados de generación en generación. Que ante el fenómeno de cambio climático se puede re-aprender en diferentes escalas, en las diversas disciplinas de las ciencias en general, así como en diferentes culturas indígenas y no indígenas, sin embargo se requiere un ingrediente fundamental: humildad.

Bibliografía

- Berger, P.L. y Thomas L. (2008). *La construcción social de la realidad*, Amorrortu editores, Buenos Aires Argentina.
- Bermejo, I. (2010). El agrícola es el sector con más emisiones de efecto invernadero a escala mundial. Área de Agroecología de Ecologistas en Acción. *Revista El Ecologista*, 67. Recuperado de <http://www.ecologistasenaccion.org/article19945.html>
- Bjurström, A. and M. Polk (2011). Physical and economic bias in climate change research: a scientometric study of IPCC Third Assessment Report. *Clim. Chang.* 108:1-22.
- Brachin, S. (2003). "Comparative public opinion and knowledge on global climatic change and the Kyoto Protocol: The U.S. versus the World?", *International Journal of Sociology and Social Policy*, 23(10), pp. 106-134.
- Conagua -Comisión Nacional del Agua- (2007). *Documento interno del Distrito de Temporal Tecnificado 011*, Comitán de Domínguez, Chiapas, México.
- Conagua -Comisión Nacional del Agua- (2009). *Registro Público de Derechos del Agua*, Octubre de 2009.
- Conagua -Comisión Nacional del Agua- (2009). *Plan de gestión de la cuenca Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas-México*, Diciembre de 2009.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

- Congreso del Estado de Chiapas (2013). *Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas*, H. Congreso del Estado de Chiapas. 23 de abril de 2013.
- Diario Independiente de Comitán (2016) [28 de septiembre].
- DOF -Diario Oficial de la Federación-, 03/06/2013.
- DOF -Diario Oficial de la Federación-, 06/06/2012.
- Dunlap, R. E. (1998). "Lay perceptions of global risk: Public views of global warming in cross-national context", *International Sociology*, 13, pp. 473-498.
- Giddens, A. y Sutton, P (2013). *Sociology*. London: Polity Press.
- Gleik, J. (2012). *Caos la creación de una ciencia*, Drakontos, Barcelona, España
- González Gaudiano, É. y P. Meira Cartea (2009). "Educación, comunicación y cambio climático", *Trayectorias*, 11(29), pp. 6-38.
- Gudynas, Eduardo (2009). Diez tesis urgentes sobre el nuevo extractivismo. Contextos y demandas bajo el progresismo sudamericano actual, en *Extractivismo, política y sociedad*, CAAP y CLAES, Ecuador, pp. 187-225.
- Gudynas, Eduardo (2012). Estado compensador y nuevos extractivismos. Las ambivalencias del progresismo sudamericano", en *Revista Nueva Sociedad*, núm. 237, Argentina, pp. 128-146
- Gudynas, Eduardo (2013). Extracciones, extractivismos y extrahecciones. Un marco conceptual sobre la apropiación de los recursos naturales, en *Observatorio del Desarrollo*, No. 18, Centro Latinoamericano de Ecología Social, Uruguay, p.18.
- Hernández, Xolocotzi, E. (1998). Agricultura Campesina ¿Obstáculo o alternativa? en M.A. Díaz León y A. Cruz León (Comps.), *Nueve mil años de agricultura en México, Homenaje a Efraím Hernández Xolocotzi*. Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 132-136.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Hilgartner, S. y C. L. Bosk (1998). "The rise and fall of social problems", *American Journal of Sociology*, 94(1), pp. 58-78.
- Hogan, D. J. (2007). Human dimensions of global environmental change. *Ambiente & Sociedade*, 10, 161-166.
- Hulme, M., Adger W. N. Dessai S., Goulden M., Lorenzoni I., Nelson D., Naess L.O., Wolf J., Wreford A. (2007). Limits and barriers to adaptation: four propositions. Tyndall Briefing Note No. 20. <http://tyndall.ac.uk/sites/default/files/bn20.pdf>. Consulta: mayo 2017.
- INEGI -Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática- (2010). *Censo de población y vivienda*, Aguascalientes, México.
- INEGI -Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática- (1985). *Estadísticas del Estado de Chiapas*, México.
- Inglehart, R. (1990). *Culture shift in advanced industrial society*, New Jersey, Princeton University Press.
- Instituto Nacional de Guatemala (2010). *Datos estadísticos de la República de Guatemala*, Ciudad de Guatemala.
- IPCC (2008). *Cambio Climático 2007*. Informe de Síntesis. Ginebra: IPCC.
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC.
- Klein, N. (2015). *Esto lo cambia todo el capitalismo contra el clima*, Paidós, México D.F., México.
- Kuhnem, A., Higuchi, M. I. G. (2011). Percepção ambiental, en S. Cavalcante y G. A. Elali (coord.) *Temas básicos em Psicologia Ambiental*, Petrópolis: Vozes, pp. 28-52
- Leiserowitz, A. (2007). "International public opinion, perception, and understanding of global climate change", *Human Development Report Office 2007-2008*. Fighting Climate Change: Human solidarity in a divided world.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

- Lezama, José L. (2008). *La construcción social y política del medio ambiente*, Ciudad de México, El Colegio de México.
- Maddison, D. J. (2007). The Perception of and Adaptation to Climate Change in Africa. Recuperado de http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1005547.
- Mariño, N. (2011). Reflexiones sobre la perspectiva cultural en las políticas de cambio climático en Colombia: un acercamiento al análisis cultural y espacial de las políticas públicas, en Ulloa, A. (ed). *Perspectivas culturales del clima*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Biblioteca abierta: Perspectivas Ambientales, pp. 495-528
- Marson Teixeira de Andrade, R. y Miccolis, A. (2012). Diagnóstico de Percepção de Risco Ambiental e Mudança Climática no Núcleo Rural da Microbacia do Córrego do Urubu. Ponencia presentada en VI Encontro Nacional da ANPPAS. Belém - PA - Brasil.
- Maslow, A.K. (1954). *Motivation and personality*, Nueva York, Harper Row.
- Meira Cartea, P. A. (2009). *Comunicar el cambio climático. Escenario social y líneas de actuación*, Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino - Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- Nisbet, M. y T. Myers (2007). "The Polls - Trends: Twenty years of public opinion about global warming", *Public Opinion Quarterly*, 71(3), pp. 444-470.
- Norgaard, K. y A. Rudy (2008). *Footnotes: Newsletter of the American Sociological Association*.
- Pérez López, Hernán, Germán Pérez López y María de Lourdes Pérez López (2007). *Caracterización y diagnóstico del río Grande de Comitán, estado de Chiapas en la región Frontera Sur*, Comité de Cuenca río Grande Lagunas de Montebello, México.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

- Pinilla-Herrera, M. C., Rueda, A., Pinzón, C., y Sánchez, J. (2012). Percepciones sobre los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático entre campesinos del centro de Santander, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 16 (31), 25-37.
- PNUD (2008). *Guía recursos de género para el cambio climático*. Ciudad de México: PNUD.
- Rosbach de Olmos, L. (2011). Del monólogo científico a las pluralidades culturales: dimensiones y contextos del cambio climático desde una perspectiva antropológica, en Ulloa, A. (ed). *Perspectivas culturales del clima* (34-55). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Biblioteca abierta, Perspectivas Ambientales.
- Ruz, Mario Humberto (1990). *Los legítimos hombres aproximaciones antropológicas al grupo tojolabal*, Vol. II, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sagarpa (2012). México: *El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*, Gobierno Federal, México.
- Sagarpa - Firco (2007). Plan Rector de Producción y Conservación, Microcuenca Los Riegos, Comitán Chiapas.
- Semahn -Secretaría de medio ambiente e historia natural- (2011). *Programa de acción ante el cambio climático del estado de Chiapas*, Gobierno del Estado de Chiapas, México.
- Semarnat-Conanp (2007). *Programa de conservación y manejo del parque nacional Lagunas de Montebello*, Gobierno Federal, México.
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science, New Series*, v. 236, n. 4799, pp. 280-285.
- Soares, D. y Garcia, A. (2014). Percepciones campesinas indígenas acerca del cambio climático en la cuenca de Jovel, Chiapas - México, *Cuadernos de Antropología Social*, 39, 63-89.

Calentamiento global en la cuenca hidrográfica Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas. Percepciones, manifestaciones, causas e impactos

- Soares, D. y Romero, R. (2008). Recursos hídricos en la cuenca del Amacuzac. *Inventio*, 4 (8), 13-23.
- Tuan, Y. (1980). *Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente*. São Paulo: Difel.
- Ulloa, Astrid (2010). Geopolítica del cambio climático, *Anthropos* 227, pp. 133-146
- Ulloa, Astrid (2011a). Construcciones culturales sobre el clima, en Astrid Ulloa (Ed.) *Perspectivas culturales del clima*, Bogotá, Universidad Nacional-ILSA, Colombia.
- Ulloa, Astrid (2011b). Políticas globales del cambio climático: nuevas geopolíticas del conocimiento y sus efectos en territorios indígenas, en Astrid Ulloa (Ed.) *Perspectivas culturales del clima*, Bogotá, Universidad Nacional-ILSA, Colombia.
- Ulloa, Astrid (2013). Controlando la naturaleza: ambientalismo transnacional y negociaciones locales en torno al cambio climático en territorios indígenas, Colombia, en *Revista Iberoamericana*, Instituto Ibero-Americano-Berlín N°49, pp.117-133.
- Whyte, A. V. T. (1977). *Guidelines for fields studies in Environmental Perception*. Paris: UNESCO/MAB.

Testimonios (Anónimos):

- Testimonio, entrevistado 1.
- Testimonio, entrevistado 6.
- Testimonio, entrevistado 7.
- Testimonio, entrevistado 8.
- Testimonio, entrevistado 10.
- Testimonio, entrevistado 11.
- Testimonio, entrevistado 12.
- Testimonio, entrevistado 14.

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Testimonio, entrevistado 21.

Testimonio, entrevistado 23.

Testimonio, entrevistado 24.

Testimonio, entrevistado 27.





Río Usumacinta



Fotografía
Internet, archivo público

Semblanza curricular de autores/as

Aceves Navarro, Lorenzo Armando

Grado Académico: Doctor por la Universidad de Nebraska, Lincoln, Nebraska, EE.UU.

Institución: Colegio de Postgraduados – Campus Tabasco, México.

Líneas de Investigación: impactos del cambio climático sobre la producción agroalimentaria en el trópico; zonificación de cultivos y agrometeorología tropical.

Correo electrónico: [laceves@colpos.mx](mailto:lanceves@colpos.mx)

Aldasoro Maya, Elda Miriam

Grado académico: Doctora en Antropología Ambiental, University of Washington, Seattle, EUA.

Institución: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)- El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) Unidad Villahermosa.

Líneas de investigación: etnobiología, educación y agroecología, masificación de la agroecología, meliponicultura.

Correo electrónico: ealdasoro@ecosur.mx

Andrade Velázquez, Mercedes

Grado académico: Doctora en Ciencias por la UNAM, México.

Institución: Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Líneas de investigación: coordinación y desarrollo de la línea de “Generación de Escenarios del Cambio Global”, con énfasis en cambio climático.

Arrieta Rivera, Agrícola

Grado Académico: Maestro en Ciencias en Fruticultura por el Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México, México.

Institución: Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca, Ocuilzapotán, Centro, Tabasco, México.

Líneas de Investigación: agricultura y forestería tropical.

Correo electrónico: agria_39@yahoo.com.mx

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Espinoza-Tenorio, Alejandro

Grado académico: Doctor en Ciencias Naturales por la Universidad de Bremen, Alemania.

Institución: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Líneas de investigación: manejo sustentable de sistemas socioecológicos costeros y planeación pesquera basada en ecosistemas.

Correo electrónico: aespinoza@ecosur.mx

Fernández Salazar, Martha Patricia

Grado académico: Pasante de la carrera de Geografía, UNAM, México.

Institución: UNAM, México.

Líneas de investigación: Geografía social.

Correo electrónico: sakayayallah@gmail.com

García García, Antonino

Grado académico: Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable por El Colegio de la Frontera Sur -ECOSUR-, Unidad San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

Institución: Universidad Autónoma Chapingo (sede Chiapas), Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional.

Línea de Investigación: gestión social de recursos naturales y territorios.

Proyecto de investigación permanente: Dinámicas territoriales en cuencas transfronterizas México-Guatemala-Belice.

Correo electrónico: tonygg@prodigy.net.mx

González Serrano, José Antonio

Grado Académico: Ingeniería en Comunicaciones, Control y Electrónica, Licenciando en Letras Modernas, Facultades de Ingeniería y Filosofía y Letras, UNAM, México.

Institución: Investigador independiente.

Líneas de Investigación: visión y respuesta social ante el cambio climático.

Correo electrónico: pppiscis7@yahoo.com.mx

González Villela, Rebeca

Grado académico: Doctora en Ciencias (Biología) por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Institución: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Líneas de Investigación: ecología acuática, análisis ecosistémico, caudal ecológico, cambio climático, manejo de cuencas.

Correo electrónico: rebeca_gonzalez@tlaloc.imta.mx

Hernández de la Cruz, Armando

Grado académico: Maestro en Estudios de Género por El Colegio de México.

Institución: El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa.

Líneas de investigación: estudios de género, sustentabilidad y desarrollo.

Correo electrónico: ahernan@ecosur.mx

Juárez López, José Francisco

Grado Académico: Doctor por la Universidad de Salamanca, España.

Institución: Colegio de Postgraduados – Campus Tabasco, México.

Líneas de Investigación: análisis del paisaje en comunidades rurales y urbanas, planeación del territorio con énfasis en la gestión de los recursos naturales y sistemas de información geográfica.

Correo electrónico: juarezlo@colpos.mx

López Castañeda, Antonio

Grado Académico: Maestro en Ciencias en Producción Agroalimentaria en el Trópico por el Colegio de Postgraduados – Campus Tabasco.

Institución: Universidad de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco, México.

Líneas de Investigación: recursos bioenergéticos sustentables y aplicación de sistemas de información geográfica a la gestión

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

de los recursos naturales.

Correo electrónico: candyanto@hotmail.com.mx

Mateos Farfán, Efraín

Grado académico: Doctor en Oceanografía Física por el CICESE.

Institución: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Líneas de investigación: eventos extremos, detección de cambio climático, procesos costeros.

Correo electrónico: efrain_mateos@tlaloc.imta.mx

Montero Martínez, Martín José

Grado académico: Doctor en Ciencias Atmosféricas por la University of Arizona.

Institución: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Líneas de investigación: detección de cambio climático, reducción de escala y modelación climática.

Correo electrónico: martin_montero@tlaloc.imta.mx

Mundo Molina, Martín D.

Grado académico: Dr. en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Politécnica de Madrid.

Institución: Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Líneas de investigación: efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico, hidráulica de canales e inundaciones y tecnologías alternativas en hidráulica.

Correo electrónico: ic_ingenieros@yahoo.com.mx

Ortega Argueta, Alejandro

Grado académico: Doctor en planificación y gestión ambiental por la Universidad de Queensland, Australia.

Institución: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Líneas de investigación: análisis de políticas ambientales, sustentabilidad y cambio climático.

Correo electrónico: aortega@ecosur.mx

Peña García, Alejandra

Grado académico: Doctora en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Institución: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Líneas de investigación: gestión y gobernanza del agua; vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos extremos (sequías e inundaciones).

Correo electrónico: alejandra_pg@tlaloc.imta.mx

Ramos Muñoz, Dora Elia

Grado académico: Doctora en Ecología y Desarrollo

Sustentable en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Institución: El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa.

Líneas de investigación: desarrollo regional, transformaciones productivas y cambio social.

Correo electrónico: dramos@ecosur.mx

Ramos Reyes, Rodimiro

Grado académico: Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales, por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Institución: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Líneas de investigación: sistema de información geográfica, cambios de usos y tipos de suelos, clasificación de humedales, vulnerabilidad y cambio climático.

Correo electrónico: rramos@ecosur.mx

Rivera Hernández, Benigno

Grado académico: Maestro en Ciencias en producción agroalimentaria en el trópico. Por el Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco, México.

Institución: Universidad de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco, México.

Líneas de Investigación: cambio climático, manejo del agua de riego y agrometeorología.

Correo electrónico: brivera@colpos.mx

*La cuenca del río Usumacinta
desde la perspectiva del cambio climático*

Santana, Julio Sergio

Grado académico: Doctor en Ciencias de la Computación por la University of Salford UK.

Institución: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Líneas de investigación: ciencia de datos, estadística aplicada, detección de cambio climático.

Correo electrónico: juliosergio@gmail.com

Soares, Denise

Grado académico: Doctora en Antropología por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Institución: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Líneas de Investigación: gestión social del agua, género, percepción de riesgos y vulnerabilidad social.

Correo electrónico: denisefsoares@yahoo.com.mx

Zárate Toledo, Antonieta

Grado académico: Doctora en Ciencias Sociales por el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Unidad Occidente.

Institución: Investigadora independiente

Líneas de Investigación: gestión social del agua y conflictos socioambientales

Correo electrónico: antonietaz@yahoo.com



El cambio climático es el mayor desafío que enfrenta la humanidad en tiempos de caos económico-social y reacción del planeta. En la presente obra las y los autores, mediante diversas disciplinas y acercamientos metodológicos, dan cuenta de la dinámica del cambio climático en la cuenca hidrográfica Usumacinta, en los estados sureños de Chiapas y Tabasco, México.

Los trabajos compilados en este libro se organizan en tres ejes temáticos: dinámica de variabilidad de precipitaciones y temperaturas en las últimas cuatro décadas, impactos del cambio climático en agricultura y ganadería, así como las percepciones de la población que habita la cuenca más caudalosa y de mayor biodiversidad ambiental y cultural de México.

