



MECANISMOS Y EFECTOS

DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRECIPITACIÓN DE LA REGIÓN SURESTE DE MÉXICO

Por:  **Raphael Granada Ramírez, Abigail López García y Eduardo Iván Muñoz Díaz**

◆◆ RESUMEN

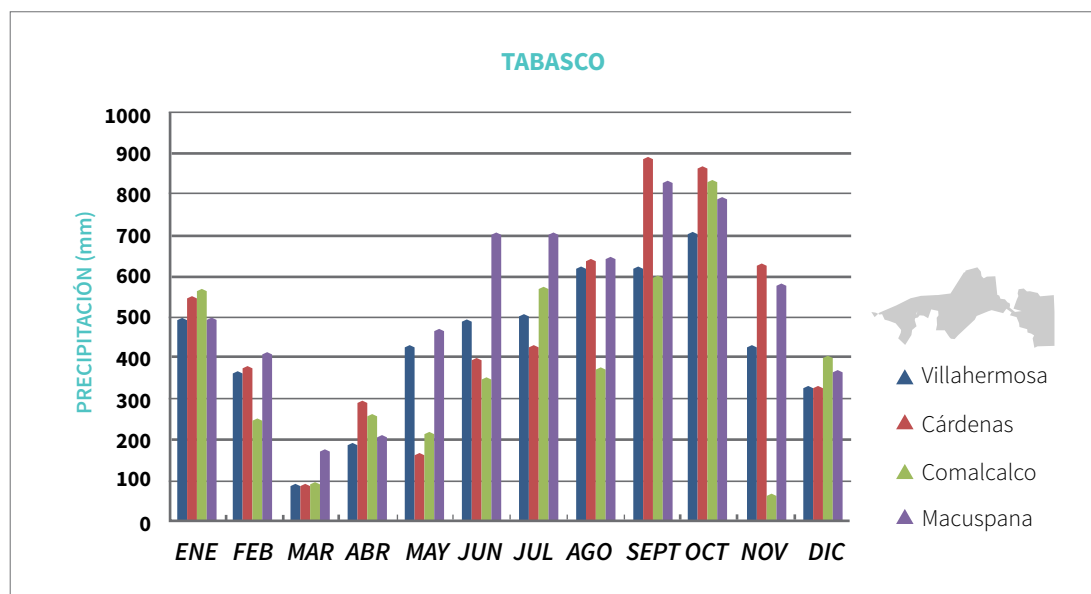
Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo se ubican en la región sureste de México. Esta zona es amenazada principalmente por fenómenos hidrometeorológicos que, en su generalidad, se presentan en los meses de verano, como tormentas tropicales y huracanes. Este artículo se enfoca en la revisión del cambio en la precipitación de dichas zonas, tanto el observado en la actualidad, como el de las proyecciones que emergen de los modelos de cambio climático para finales del siglo XXI. La duración, frecuencia, intensidad, cantidad y variabilidad de la precipitación, son parámetros que se han estado modificando. Si bien, por una parte está im-

plícita su variabilidad natural, fenómenos como El Niño y las alteraciones en la circulación atmosférica tienen una importante influencia. Los posibles escenarios de cambio climático destacan alteraciones en los ecosistemas que afectan directamente las actividades socioeconómicas de dicha zona. Cambios en la disponibilidad y calidad del agua son los principales riesgos a mitigar.

◆◆ **PALABRAS CLAVE:**
Precipitación, cambio climático, sequías, inundaciones

◆◆ ABSTRACT

Tabasco, Campeche, Yucatán and Quintana Roo are located in the southeast of



Gráfica 1. Máximas mensuales de precipitación para municipios del estado de Tabasco.

México. This region is mainly menaced by hydro meteorological phenomena, which generally is present during the summer season, like hurricanes and tropical storms. This article is focused towards the review of the changes in the precipitation of said regions, both the observed to date, such as the projections that emerge of the models of climate change for the termination of the twenty-first century. The duration, frequency, intensity, quantity and variability of the precipitation, are parameters that haven been modified. While, for some occasions the natural variability is implicit in cases like the phenomenon El Niño and the alterations in the atmospheric circulation have an important influence. The possible scenarios of climate change include alterations in the ecosystem, which affect directly the socio-economic activities of said region. Changes in availability and quality of the water, are the main risks to mitigate.

KEY WORDS:
Precipitation, Climate change, Droughts, Floods

1. INTRODUCCIÓN

El clima del planeta ha cambiado a lo largo de miles de millones de años, en los que se han registrado periodos de

enfriamiento y calentamiento que se desarrollaron en lapsos de gran escala; sin embargo, actualmente el clima del planeta sufre alteraciones que están ocurriendo de manera acelerada. El cambio climático, de acuerdo con el Artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC) (Naciones Unidas, 1992), se define como «un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables». En la actualidad, el cambio climático se atribuye principalmente al aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero que se generan por el uso de combustibles fósiles, producto de la acción humana.

Entre los muchos efectos que trae consigo el cambio climático se encuentra la modificación de los patrones naturales de precipitación. Estas modificaciones conllevan graves consecuencias en la vida humana, como por ejemplo pérdidas en el sector agropecuario, inundaciones en zonas urbanas o escasez de agua, por ello su estudio es tan importante.

México es un país que por muchas razones se encuentra muy vulnerable ante el efecto del cambio climá-



Como se puede observar en esta gráfica los municipios de Cárdenas, Comalcalco y Macuspana son los que presentan los niveles más altos de precipitación durante los meses de septiembre y octubre que ocurrieron en el año de 2007, lo cual coincide con la inundación más grave que se ha suscitado en el estado. Asimismo, Tabasco es el estado de la región sureste donde se concentran las lluvias más abundantes.

tico. El país cuenta con una gran diversidad de climas, en el norte del país se encuentran los climas secos, mientras que en los estados del sur los climas cálidos húmedos. La región sureste del país comprende los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Esta zona posee un clima cálido que se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26° C y precipitaciones de 2,000 a 4,000 mm anuales. En esta región la principal amenaza son los fenómenos hidrometeorológicos que ocasionan diversos desastres, es por esta razón que este artículo se enfoca en presentar las causas y la influencia del cambio climático en la variación de la precipitación, las evidencias de dicho comportamiento en México, principalmente en la zona del sureste del país, para, de esta manera, evaluar los escenarios futuros de esta región, ya que tener una perspectiva más clara del panorama futuro para el país proporciona la oportunidad de concientizarnos ante la problemática y disminuir la vulnerabilidad y el riesgo.

2. CAUSAS DE LA VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es uno de los fenómenos naturales más importantes e influyentes en el correcto funcionamiento de los ecosistemas. Dicha precipitación, proveniente de las nubes, cae en distintas formas, ya sean líquidas o congeladas, como lluvia, granizo, nieve, llovizna, agua nieve, por mencionar algunas. Es necesario recalcar que la precipitación ocurre de manera irregular, y obedece a las condiciones meteorológicas, tales como la humedad y la temperatura.

Las condiciones meteorológicas definen la cantidad de humedad por medio de las corrientes de los vientos, la manera en que se asocian las nubes en las tormentas y la evaporación en la superficie. La precipitación es el resultado de la condensación del vapor de agua, por lo regular el aire que asciende tiende a expandirse y, en consecuencia, a enfriarse, produciendo la precipitación. Como efecto, cualquier alteración que se produzca en las variables climáticas

2000 a 4000 mm

SON LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN LA REGIÓN SURESTE DEL PAÍS.



traerá como consecuencia un impacto en la precipitación.

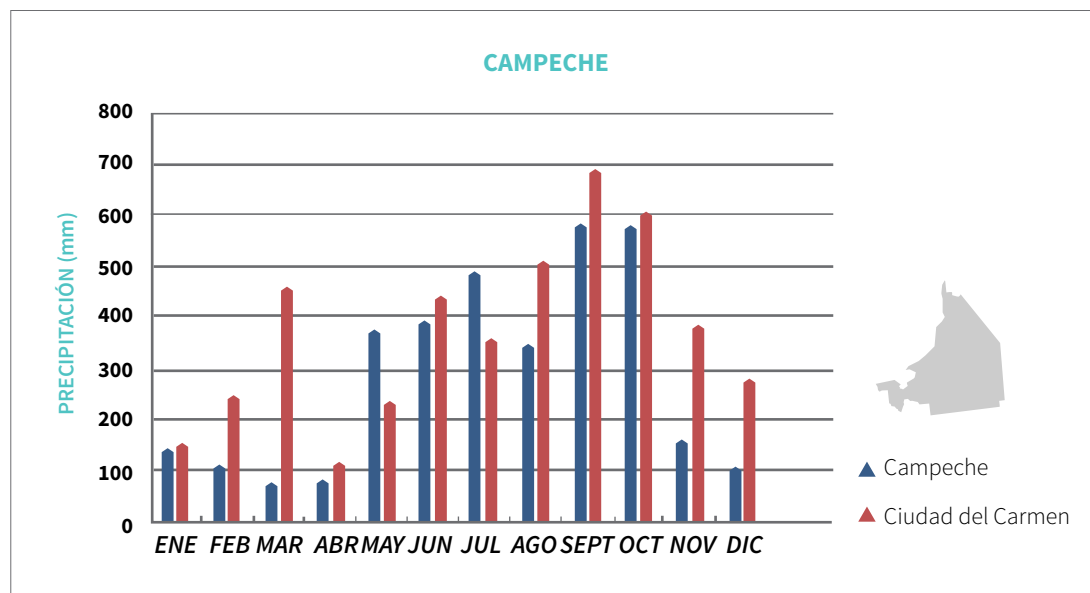
Actualmente, diversos estudios han demostrado cambios notorios en los parámetros de la precipitación tanto en duración, frecuencia, intensidad, cantidad y variabilidad, esto se debe en parte a la intermitencia de la naturaleza; fenómenos como El Niño y las alteraciones en la circulación atmosférica, tienen una importante influencia. Cabe resaltar que hay lugares donde se han detectado notables incrementos en las precipitaciones, hasta lugares donde han disminuido drásticamente. Estas variaciones son el resultado del aumento de vapor de agua en la atmósfera producto del calentamiento de los océanos mundiales, sin embargo, también se han registrado alteraciones debido a sequías e inundaciones.

Por otro lado, el ser humano ha generado el incremento del efecto invernadero que trae, como consecuencia, el aumento en la evaporación de superficies líquidas. Existen algunas zonas donde la contaminación, producto de los aerosoles, cubre el suelo de los rayos de la luz solar, provocando una menor evaporación, lo cual reduce el abastecimiento de humedad atmosférica.

Conforme a los modelos climáticos globales, el calentamiento de la atmósfera ocasionará una redistribución de las zonas de lluvia en el mundo, con aumentos en las latitudes más al norte y disminuciones en latitudes medias. Asimismo, fenómenos extremos, como sequías o lluvias intensas, más frecuentes y de mayor intensidad.

Es claro que existen varios factores que pueden alterar de manera directa a la duración, intensidad y tipo de precipitación. El calentamiento no sólo incrementa el secado de la superficie del suelo sino que también da paso a la probable ocurrencia y severidad de las sequías; este hecho se ha presentado en distintas partes del mundo. A nivel local y/o regional la precipitación obedece, en gran medida, a la circulación atmosférica determinada por El Niño, la oscilación del Atlántico Norte y la oscilación del Caribe, principalmente. Por mencionar algún caso, el efecto de un ciclón puede hacer que algunos lugares sean más húmedos, mientras que otros lugares sean más secos; éste es un claro ejemplo del cambio climático.

Es preciso conocer que, durante las temporadas de otoño y primavera, la forma en que caerá la precipitación depende completamente de la temperatura, si ésta aumenta, las posibilidades de lluvia se incrementan, en contraste si la temperatura disminuye la probabilidad de que caiga nieve será mayor. Estos cambios son notorios en muchas regiones, sobre todo en las latitudes medias y altas del hemisferio norte, en dichas zonas trae como consecuencia un aumento en las lluvias, sin embargo, las nevadas tienden a disminuir, por tanto, se dispone de menos recursos hídricos en el verano que, por desgracia, es cuando más se necesitan. Afortunadamente, la naturaleza construye complejos patrones de precipitación, ya que a menudo ésta se presenta de forma intermitente y dispersa. Esto



Gráfica 2. Máximas mensuales de precipitación para municipios del estado de Campeche.

Al igual que en el estado de Tabasco, Campeche presenta sus lluvias más intensas durante los meses de septiembre y octubre, pero el municipio de Ciudad del Carmen es el que posee el más alto índice de lluvias con una máxima de 681.9 mm en el mes de septiembre.

se observa en gran medida en los registros anuales, debido a que han ocurrido años donde se prolongan largos periodos de sequías, y otros donde se presentan años con intensas lluvias, un ejemplo de esto es las influencias del fenómeno conocido como El Niño.

3. ESTADÍSTICAS DE PRECIPITACIÓN

La región sureste del país es conocida por sus abundantes precipitaciones. El estado de Tabasco cuenta con una precipitación media de 2,550 mm anuales que se presentan, principalmente, en los meses de junio a octubre. Campeche posee una precipitación media que varía entre 1,200 y 2,000 mm anuales. La precipitación media para el estado de Yucatán es de 1,100 mm anuales, con lluvias abundantes durante los meses de junio y octubre. Para Quintana Roo se tiene una precipitación de alrededor 1,300 mm anuales.

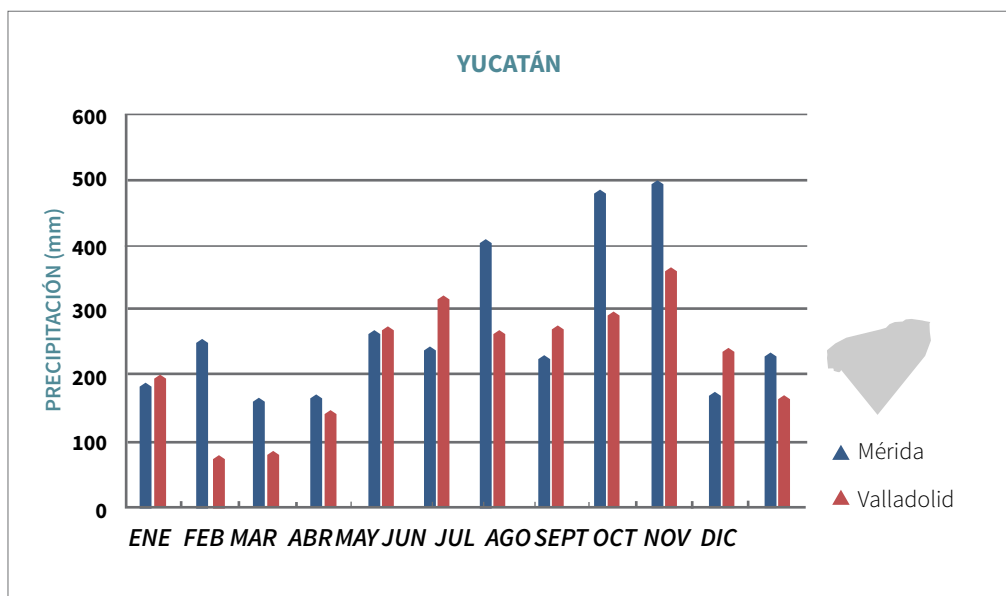
En las gráficas 2 a 4 se presentan las diferentes precipitaciones máximas mensuales registradas por el Servicio Meteorológico Nacional para los municipios más importantes de cada estado durante el periodo de 1981 a 2010.

4. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

La incertidumbre que se tiene en los modelos para las proyecciones en los

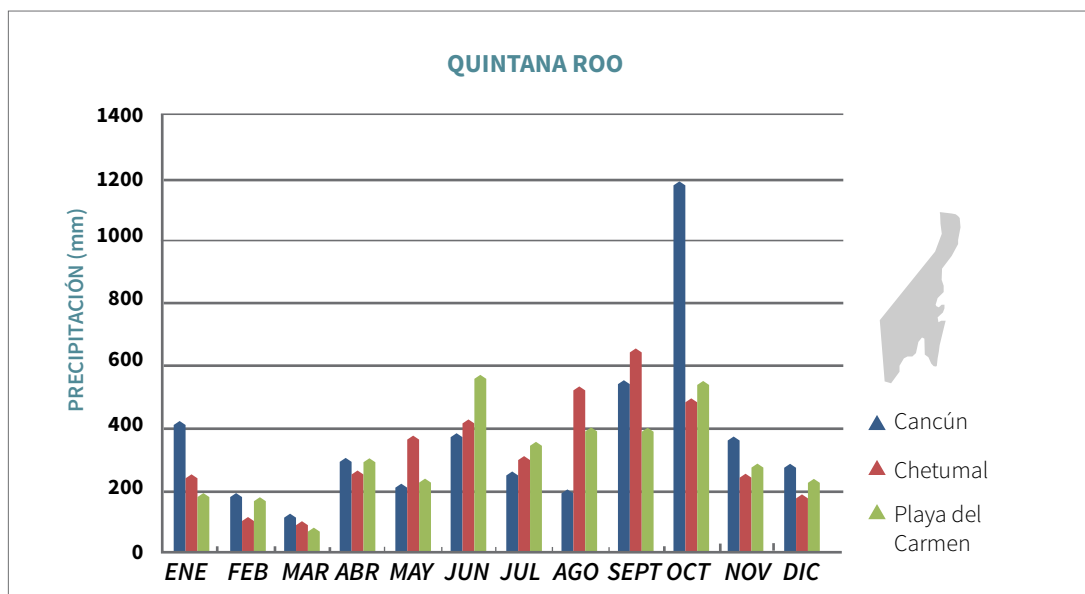
sistemas hidrológicos, sigue siendo bastante amplia. Esto aunado a la misma variabilidad interna de los sistemas hídricos y en conjunto con otros factores, como la variación en las emisiones de gases de tipo invernadero. El IPCC, en su sexto documento técnico de 2008, menciona que en la mayoría de las simulaciones que se utilizan para la proyección de condiciones climáticas no incluyen los cambios antropogénicos de la superficie terrestre (IPCC, 2008). La incertidumbre respecto a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, las sequías y las crecidas, se debe a las diferencias entre los escenarios de desarrollo económico, emisiones de gases invernadero y modelos climáticos e hidrológicos (Bates, *et al.*, 2008).

De acuerdo con los modelos utilizados para el escenario A1B del IE-EE, para la distribución de la precipitación media anual entre 2080 y 2099 (Bates, *et al.*, 2008), (véase la figura 1) la precipitación en la zona sur-sureste de México presenta una considerable disminución, tanto para los meses húmedos (DEF), como para los secos (JJA). Conforme al IPCC para el análisis de este escenario, se prevé que la precipitación en la zona del Caribe disminuirá hasta un 20%. Esto debido a que la escorrentía y la evapotranspiración propician un mejoramiento en la hume-



El municipio de Mérida presenta mayores precipitaciones con respecto a Valladolid y éstas, al igual que en los estados anteriores, se presentan en los meses de septiembre y octubre.

Gráfica 3. Máximas mensuales de precipitación para municipios del estado de Yucatán.



Gráfica 4. Máximas mensuales de precipitación para municipios del estado de Quintana Roo.



En el municipio de Cancún se presentó un evento extraordinario en el mes de octubre: se registró una máxima de precipitación de **1 188.8 mm el 21 de octubre de 2005**, en esta misma fecha se origina la máxima del municipio de Playa del Carmen, tales eventos coinciden con la llegada al estado del huracán

Wilma, el cual es considerado el huracán más devastador en la historia del país debido a las pérdidas millonarias que ocasionó en la zona turística. Sin embargo, regularmente la mayor cantidad de lluvias, como se puede observar en la gráfica, ocurren en el municipio de Chetumal.

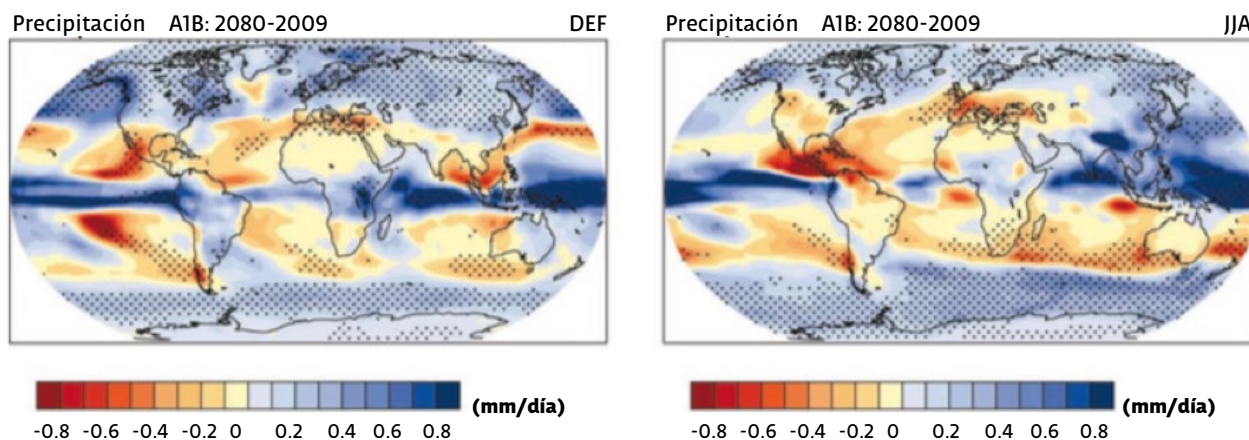


Figura 1: . Media de los cambios de precipitación para los meses DEF y JJA. Los cambios están basados en el escenario A1B del IE-EE, y corresponden al periodo 2080-2099 comparado con 1980-1999 (Bates *et al.*, 2008).

dad relativa de la atmósfera, pero que sólo beneficia a las altitudes altas y no a zonas de latitud media como es el sur de México. En general, para el territorio mexicano, de acuerdo con los escenarios mostrados, es muy probable que se presente una disminución en la precipitación. Para las zonas de estudio (véase figura 2) se tiene proyectada una reducción en la precipitación en un rango de 5 al 15% en la cantidad de lluvia, esto para el escenario A1B.

Siendo el escenario A2 del IE-EE, uno de los menos favorables para las condiciones de vida en el planeta, se explica que las sequías en las zonas de altitud media, en las temporadas de verano, aquejarán considerablemente a la sociedad y ecosistemas, aumentando de 1% actual hasta un 30% en la superficie terrestre, esto proyectado para el año 2100. Lo que es también un factor determinante en las llamadas olas de calor. En la sección b) Humedad del suelo de la figura 2, que corresponde al valor medio de la condiciones mostradas para el periodo 2080-2099 del escenario A1B, se muestran porcentajes considerablemente bajos de humedad para las condiciones del suelo en las zonas sur-sureste de México, dichas condiciones pueden destruir sustancialmente la vegetación en dicha región, provocando entre muchas otras variantes una baja sustancial en la producción de alimentos y en la disponibilidad de agua para el consumo humano.

Aunque los escenarios mostrados no presentan una buena expectativa de precipitación en el sur-sureste de México, se tiene proyectado un aumento en la precipitación en cuanto a la intensidad, es decir, precipitaciones elevadas pero concentradas en episodios más intensos, lo que significa que se tendrían que disponer las condiciones adecuadas de captación y almacenamiento del agua, para su uso posterior. Debe considerarse que, como parte de la proyección de estos modelos, se tiene contemplado que los lapsos de sequías serán más largos, aumentado la evapotranspiración en las zonas subtropicales (Meyer *et al.*, 2014), como es el caso de la zona sur del país.

Considerando ahora los nuevos escenarios RCP, en el caso intermedio RCP 6, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático estima una disminución de precipitación en la región de entre 10 y 30%, como se muestra en la figura 3.

En este mismo escenario, la temperatura promedio se incrementaría entre 2 y 3 grados centígrados en el mes de agosto, uno de los más calurosos en la región, como se muestra en la figura 4.

Con el análisis del panorama que se tiene proyectado para finales del siglo XXI, de acuerdo al escenario A1B del IE-EE, en la zona sur de México el punto de quiebre será la disponibilidad y calidad de agua, debido a que las sequías afectarán en gran medida a esta región del país. Esto conlleva a una gran discusión sobre medidas de adaptación,

en donde los aspectos sociales como el comercio, la industria, recursos hídricos y salud, podrán definir el futuro de esos asentamientos poblacionales. La tabla 1 muestra en resumen los posibles impactos del cambio climático con respecto a los cambios atmosféricos y climáticos.

La vulnerabilidad de esta región es alarmante, ya que las condiciones de vida probablemente serán abrumadoras, donde el principal reto a vencer será la escasez de agua y con ello la falta de servicios de salud y alimentos, aunada a episodios de lluvias intensas ocasionadas por tormentas tropicales y huracanes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se sabe que las causas de la precipitación son distintas y variadas, además de que es claro que no es posible tener una completa certeza sobre sus posibles impactos en los ecosistemas. Sin embargo, de acuerdo a la eminente problemática que se pueda llegar a generar a causa del cambio climático, y dependiendo de cuál extremo ocurra, si se trata de sequía o inundación, se deben tomar acciones para poder afrontar los posibles impactos socioeconómicos, migratorios y de adaptación que deberán hacer frente las poblaciones y seres vivos ante la adversidad que se origine.

Es preciso resaltar que, de acuerdo a los estudios recientes, los cuales demuestran la posibilidad de importan-

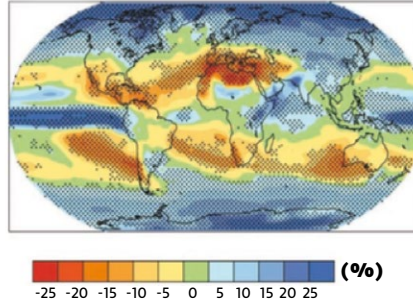
tes efectos vinculados al cambio climático, con el enfoque específico en la precipitación, es probable que se puedan suscitar alteraciones graves en los ecosistemas, lo cual se traduce en desorden en los servicios ambientales, que a su vez afecta directamente a las actividades socioeconómicas de la zona sureste de México. En respuesta a las eventuales contingencias es imperativo crear conciencia en las poblaciones expuestas que habitan esta zona del país.

Como parte de las posibles medidas que se pueden tomar para ayudar a aminorar el riesgo, se propone:

- Los asentamientos deben reubicarse a distancias seguras, tanto de los efectos de lluvias extremas, como de sobre elevación del mar.
- Implementación de infraestructura en las riveras de los cuerpos de agua en zonas altamente expuestas, para protección de las poblaciones adyacentes.
- En caso de presentarse una emergencia, ya sea inundación o sequía, contar con planes específicos, así como con estrategias de adaptación para combatir dichos sucesos extraordinarios.
- Promover proyectos de reforestación en los márgenes de costas, ríos, lagos y pendientes cercanas a otros cuerpos de agua, esto con la idea de formar una protección natural contra posibles inundaciones.

Estas son sólo algunas recomendaciones que eventualmente se pueden aplicar para prevenir posibles riesgos al suscitarse alguna alteración importante proveniente de efectos secundarios de las precipitaciones.

a) Precipitación



b) Humedad del suelo

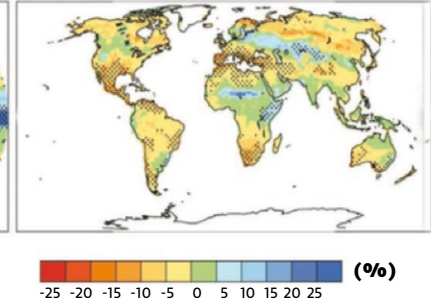
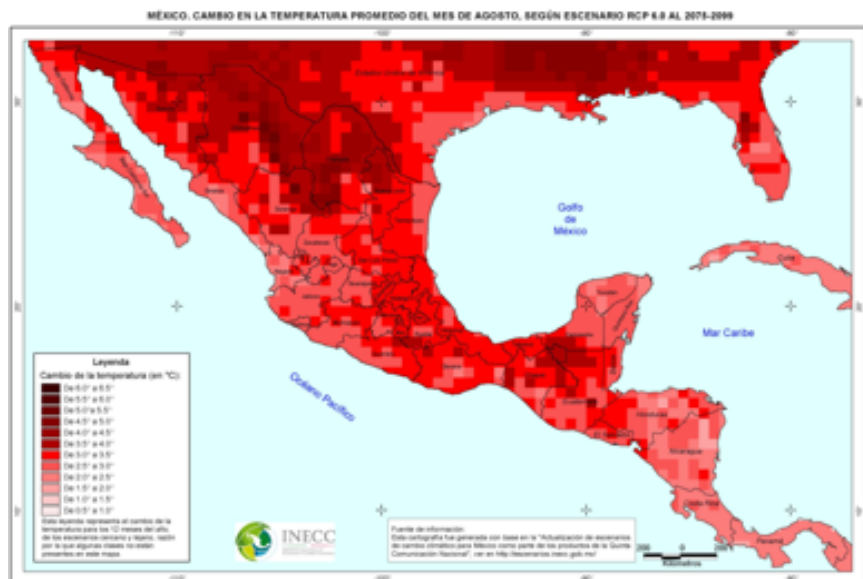


Figura 2: Valor medio respecto de los cambios de (a) precipitación (%), (b) contenido de humedad del suelo (%). Para denotar la coherencia en cuanto al signo del cambio, los cambios son valores medios anuales basados en el escenario A1B del EI-EE para el periodo 2080-2099, en comparación con 1980-1999 (Bates *et al.*, 2008).



Figura 3: Cambio en la precipitación en el escenario RCP 6. (Disponible en el sitio <http://escenarios.inecc.gob.mx/>).



FENÓMENO Y DIRECCIÓN DE LA TENDENCIA		VEROSIMILITUD DE LAS TENDENCIAS FUTURAS CON BASE A PROYECCIONES PARA EL SIGLO XXI MEDIANTE ESCENARIOS IE-EE				EJEMPLOS DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS PROYECTADOS, POR SECTORES			
		Agricultura, silvicultura y ecosistemas	Recursos hídricos	Salud humana	Industria, asentamientos y sociedad				
Episodios de precipitación intensa: aumento de la frecuencia en la mayoría de las áreas	Muy probable	Daños a los cultivos; erosión del suelo, imposibilidad de cultivar tierras por anegamiento de los suelos	Efectos adversos sobre la calidad del agua superficial y subterránea; polución de los suministros de agua; posiblemente menor escasez de agua	Mayor riesgo de defunciones, lesiones y enfermedades infecciosas, respiratorias y dérmicas	Alteración de los asentamientos, del comercio, del transporte y de las sociedades por efecto de las crecidas: presiones sobre las infraestructuras urbanas y rurales; pérdidas de bienes				
Aumento del área afectada por la sequía	Probable	Degradación del suelo; disminución de los rendimientos/daños a los cultivos; más cabezas de ganado muertas; mayores riesgos de incendios forestales	Mayor extensión del estrés hídrico	Mayor riesgo de escasez de alimentos y de agua; mayores riesgos de malnutrición; mayor riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos	Escasez de agua para asentamientos, industrias y sociedades; menos potencial de generación hidroeléctrica; posibles migraciones de la población				
Aumento de la actividad ciclónica tropical	Probable	Daños a los cultivos; árboles desgajados por el viento; daños a los arrecifes de coral	Interrupciones del suministro eléctrico que alteran el abastecimiento de agua para la población	Mayor riesgo de defunciones, lesiones, enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos (Meyer et al., 2014), trastornos de estrés postraumático	Trastornos causados por crecidas y vientos fuertes; denegación de seguros por aseguradoras privadas en áreas vulnerables; posibilidad de migraciones de la población; pérdida de bienes				

Tabla 1



Con el análisis del panorama que se tiene proyectado para finales del siglo XXI, de acuerdo al escenario A1B del EI-EE, en la zona sur de México el punto de quiebre será la disponibilidad y calidad de agua, debido a que las sequías afectarán en gran medida a esta región del país.

REFERENCIAS

- Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., y Palutikof, J. (2008). *Climate change and water* (Vol. VI). Ginebra: IPCC.
- Campillo, L.M. (2008). *El cambio climático: Tabasco, estudio de caso*. Villahermosa: UJAT.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Clima en México*. En línea. Obtenido desde: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=80
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Normas climatológicas por estación*. En línea. Obtenido desde: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75
- IPCC. (2008). *El cambio climático y el agua*. Ginebra: Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.
- Meyer, L., Brinkman, S., van Kesteren, L., Leprince-Ringuet, N., y van Boxmeer, F. (2014). *Climate Change Synthesis Report*. Ginebra: IPCC.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. En línea. Obtenido desde: https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- Solomon, S. D. (2007). Informe del grupo de trabajo I: *base de la Ciencias Físicas*. Inglaterra: Universidad de Cambridge.



Raphael Granada Ramírez

Estudiante del 8º semestre de la Licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad de las Américas Puebla. Ex-miembro del Consejo estudiantil de la UDLAP. raphael.granadarz@udlap.mx



Abigail López García

Estudiante del 8º semestre de la Licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad de las Américas Puebla. Exmiembro del Consejo estudiantil de la UDLAP. abigail.lopezga@udlap.mx



Eduardo Muñoz Díaz

Estudiante del 8º semestre de la Licenciatura en Ingeniería Civil por la Universidad de las Américas Puebla. Participó en el concurso internacional «Concrete Canoe» realizado por la ASCE, Tyler Texas 2014. Fue secretario de la Mesa Directiva de Ingeniería Civil, CEUDLAP 2015-2016. eduardo.munozdz@udlap.mx