

Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México

Repercussões da mudança climática global no estado de Sinaloa, México

Global Climate Change Impacts in the Sinaloa State, México

Luis Miguel Flores Campaña*
Juan Francisco Arzola-González**

Universidad Autónoma de Sinaloa, México

Milagros Ramírez-Soto***

Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias del Valle de Culiacán, México

Amador Osorio-Pérez****

Universidad Autónoma de Sinaloa, México

Resumen

Las variaciones en las condiciones ambientales del estado de Sinaloa asociadas al cambio climático global han sido poco estudiadas, al igual que su impacto en las principales actividades productivas de la región. Aquí se describen diversos fenómenos asociados al cambio climático y sus consecuencias para Sinaloa. Se analizan los escasos escenarios del clima donde se incluye a la región y se cuestionan las modificaciones asociadas a ciclones tropicales y a cambios interanuales. Se discuten las repercusiones del cambio climático en la actividad agrícola y aspectos relacionados con el ascenso del nivel del mar. Llama la atención la falta de estimaciones y estudios locales que sirvan de base para planificar mejor estrategias e iniciativas que faciliten la adaptación al cambio climático en la región.

Palabras clave: cambio climático global, escenarios del clima, México, Sinaloa.

Resumo

As variações nas condições ambientais do estado de Sinaloa, associadas à mudança climática global, têm sido pouco estudadas, assim como seu impacto nas principais atividades produtivas da região. Aqui se descrevem diversos fenômenos associados à mudança climática e suas consequências para Sinaloa. Analisam-se os escassos cenários do clima onde se inclui a região e se questionam as modificações associadas a ciclones tropicais e a mudanças interanuais. Discutem-se as repercussões da mudança climática na atividade agrícola e aspectos relacionados com o aumento do nível do mar. Destaca-se a falta de estimativas e estudos locais que sirvam de base para planejar melhor as estratégias e iniciativas que facilitem a adaptação à mudança climática na região.

Palavras-chave: mudança climática global, cenários do clima, México, Sinaloa.

Abstract

The variation of environmental conditions deriving from global climate change in the state of Sinaloa and its impact on the region's main productive activities have not been sufficiently studied. The article describes various phenomena associated with climate change and its consequences for Sinaloa, analyzes the scarce climate scenarios that include the region, and discusses the modifications caused by tropical cyclones and interannual changes. It also discusses the repercussions of climate change on agricultural activity and aspects related to sea level rise. Finally, the text empathizes on the lack of local estimations and studies that could serve as base for improved planning strategies and initiatives to facilitate adaptation to climate change in the region.

Keywords: global climate change, climate scenarios, Mexico, Sinaloa.

RECIBIDO: 17 DE NOVIEMBRE DEL 2011. ACEPTADO: 21 DE MARZO DEL 2012.

Artículo de investigación sobre los principales fenómenos asociados al calentamiento global y su impacto en las actividades productivas en el estado de Sinaloa, México.

* Dirección postal: Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Mazatlán, Sinaloa, México. C.P. 82000
Correo electrónico: lcampana@uas.uasnet.mx

** Dirección postal: Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Mazatlán, Sinaloa, México. C.P. 82000
Correo electrónico: elarzola@hotmail.com

*** Dirección postal: Campo Experimental Valle de Culiacán, Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Culiacán-Eldorado Km 16,5, Culiacán, Sinaloa, México.
Correo electrónico: ramirez.milagros@inifap.gob.mx

**** Dirección postal: Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Universitaria, Boulevard de las Américas y Universitarios s/n, Culiacán, Sinaloa, México. C.P. 80021.
Correo electrónico: aosorio@uas.uasnet.mx

Introducción

El cambio climático es una alteración de las características ambientales y su variabilidad en el clima promedio que se presenta en una región, por lo que puede implicar tanto condiciones de calentamiento como de enfriamiento. Los cambios propios del sistema climático del planeta varían en diferentes escalas de tiempo, entre ellas los ciclos estacionales, que se presentan anuales e interanuales, como El Niño/Oscilación del sur; decadales (oscilación del Atlántico norte y oscilación decadal del Pacífico); seculares (ciclos de manchas solares), y aquellos dominados por varios milenios (ciclos de Milankovich).

En la actualidad un componente importante del cambio climático es el calentamiento global derivado de la actividad humana desde finales del siglo XVIII. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar (Intergovernmental Panel on Climate Change —en adelante, IPCC— 2007).

Asimismo, en los últimos años se han observado modificaciones importantes en las condiciones ambientales promedio en México, y particularmente en el estado de Sinaloa, que se relacionan con procesos asociados al cambio climático. Por ejemplo, ha sido evidente un cambio en los patrones de precipitación junto con una ampliación en la duración de las sequías, un incremento de la temperatura y de la frecuencia de ciclones de alta intensidad, entre otras manifestaciones (Díaz-Castro 2010; Díaz-Coutiño 2011; Villanueva-Díaz et ál. 2009). Sin embargo, estos cambios han sido poco estudiados, al igual que su impacto en las principales actividades productivas (agricultura, turismo, pesca y acuicultura). Además, existen deficiencias en las nuevas políticas necesarias para la mitigación y/o adaptación al cambio climático en la región.

Por la importancia de los recursos naturales de Sinaloa, sometidos a la actual variabilidad climática, en el presente documento se describen los principales fenómenos asociados al calentamiento global, las modificaciones más importantes en las condiciones ambientales de la región que podrían estar coligadas al calentamiento global y su impacto en la actividad agropecuaria, con información sobre vulnerabilidad y escenarios de riesgo climático. Al final se sugieren algunas propuestas para

enfrentar el cambio climático en Sinaloa, tomando en cuenta que dichos fenómenos tendrían una manifestación regional diferente de las estimaciones globales, que podrían ser mayores o menores dependiendo de factores regionales y locales (Pabón y Lozano 2005, 98).

El calentamiento global

Actualmente no hay duda sobre el calentamiento global de la atmósfera (figura 1). El incremento registrado en las temperaturas mundiales promedio desde mediados del siglo XX se debe a una mayor concentración de gases de efecto invernadero —en adelante, GEI— generados por actividades humanas, que desde la era preindustrial han aumentado en un 70% (IPCC 2007). La temperatura promedio global ha aumentado en 0,74 °C desde 1850 y se predicen incrementos de 1 °C a 6 °C para el 2100 (Harvey 2008).

Los fenómenos asociados al calentamiento global son diversos e incluyen eventos climáticos más extremos, como lluvias más intensas e inundaciones, épocas de sequía más severas y olas de calor, tormentas más impetuosas y frecuentes, derretimiento de glaciares, calentamiento de los polos, pérdida del hielo marino, incrementos en el nivel del mar y acidificación de los océanos, entre otros (Harvey 2008).

También se han producido notables cambios en los patrones de lluvia en todo el mundo, debido a los cambios en la temperatura superficial de tierra y mar, y cambios en los patrones de viento y en los movimientos de las corrientes oceánicas. Asimismo, en las estadísticas de los fundamentos físicos del cambio climático se observa una mayor frecuencia de olas de calor, intensas precipitaciones, ciclones tropicales en el Atlántico norte y fuertes tormentas (IPCC 2007).

Las tendencias de la precipitación anual durante el último siglo son muy variables geográficamente. Las lluvias han aumentado durante el siglo XX entre 5% y 10% tanto en las latitudes medias y altas del hemisferio norte, como en las regiones orientales de Norte y Sur América, norte de Europa, y norte y centro de Asia. Pero han disminuido un 3% en promedio en zonas subtropicales de la región occidental de Sudamérica, el Sahel, el Mediterráneo, sur de África y partes del sur de Asia. Además, a nivel mundial se ha incrementado el área bajo sequía desde 1970, y regiones del Sahel, el Mediterráneo, y el norte y centro de Asia están recibiendo menos lluvias y sufriendo sequías más largas y severas (Rekacewicz 2005).

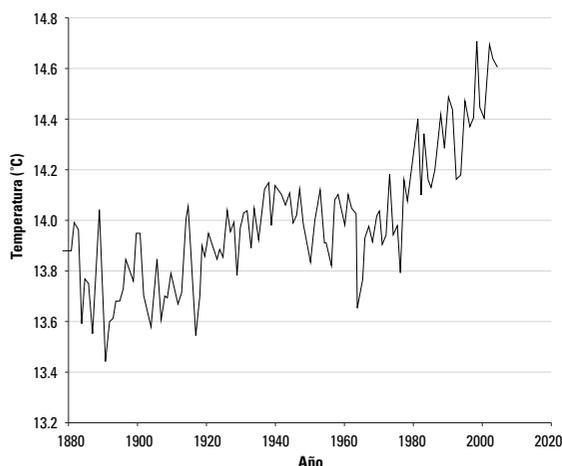


Figura 1. Temperatura promedio global durante el periodo 1880-2004. Fuente: Modificado de Goddard Institute for Space Studies (GISS), National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Otro ejemplo de los efectos del calentamiento global se tiene en la desaparición de los glaciares y pérdida del hielo marino. La disminución del casquete de hielo del volcán Kilimanjaro, en Tanzania, es una muestra del deshielo glaciar. El 85% del hielo que cubría la montaña en 1912 se ha perdido en la actualidad y, de ese porcentaje el 26% ha desaparecido en los últimos 7 años (Thompson et ál. 2009).

En el Ártico, los cambios en su masa de hielo han sido alarmantes. Su cobertura de hielo en septiembre, cuando está en su mínima extensión, es un 80% menor a la que existía en la década de 1970, y durante el invierno está disminuyendo en un 4% por década, mientras que su grosor ha disminuido hasta un 40% en los últimos cuarenta años (Achondo-Larraín 2007). En el Polo sur, la barrera de hielo Larsen B, de casi 3.200 km², terminó de romperse en marzo del 2002, en un proceso que duró aproximadamente 35 días (Gay-García 2008).

Por otra parte, el nivel del mar está aumentando debido a la dilatación térmica del agua y al deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos polares de hielo. Desde 1993 el nivel mundial de los océanos ha ascendido, en promedio, 3,1 mm/año, y las proyecciones indican un aumento de 26-59 cm al término del siglo XXI (IPCC 2007). Este ascenso representa una aceleración destacada dentro de los procesos que vienen ocurriendo en los dos últimos milenios (Warrick et ál. 1996).

En los océanos también se presenta un proceso de acidificación: un descenso de su pH causado por la toma de CO₂ desde la atmósfera. Se estima que, entre 1751 y

1994, el pH de la superficie del océano ha descendido de 8,179 a 8,104 (Key et ál. 2004; Orr et ál. 2005). Aunque la absorción natural de CO₂ por los océanos mitiga los efectos del cambio climático causado por las emisiones antropogénicas de este GEI, hay evidencias de que el descenso resultante en el pH genera consecuencias negativas, principalmente en organismos que utilizan formas del carbonato de calcio (CaCO₃), como calcita y aragonita, al reducir su habilidad para formar cubiertas celulares o esqueletos de cocolitóforos, foraminíferos, corales, equinodermos, crustáceos y moluscos (Riebesell et ál. 2000; Hall-Spencer et ál. 2008; Wootton et ál. 2008).

En el caso de los corales pétreos, uno de los ecosistemas más diversos del planeta, el efecto del calentamiento global es aun más grave. A partir de 1982 se ha detectado un incremento en la severidad, frecuencia y alcance geográfico de un fenómeno llamado “blanqueamiento de coral”, que se caracteriza por una pérdida de coloración de los corales relacionada con temperaturas superficiales del mar anormalmente altas. Inclusive, durante 1998, uno de los años más calientes en el registro climatológico, se considera que se perdió el 16% de los corales del mundo (Iglesias-Prieto 2005).

Es tal el impacto del calentamiento en los océanos, que Unicpolos (2011) señala que estos se encuentran en una fase de extinción de importancia mundial, cuyo detonante ha sido el incremento de las emisiones antropogénicas de CO₂, ya que su asimilación actual por parte del océano es mayor que durante la última extinción masiva de especies marinas, hace 55 millones de años, e indica que otros factores que anuncian esta catástrofe son la sobreexplotación, la contaminación, la acidificación y la disminución del oxígeno disuelto en el océano.

El impacto de los seres humanos en el mundo es tan importante que solo en el último siglo, o dos, hemos alterado el planeta tanto como para marcar el comienzo de una nueva época: el Antropoceno, la era del hombre (Kolbert 2011). Es decir, ya no estamos en el Holoceno, que comenzó al final de la última era del hielo, hace unos 12.000 años, y que oficialmente continúa en la actualidad. Se propone que el Antropoceno comenzó a finales del siglo XVIII, cuando los niveles de CO₂ dieron inicio a lo que resultó ser un aumento ininterrumpido, aunque otros científicos sitúan su inicio a mediados del siglo XX, cuando las tasas demográficas y de consumo se aceleraron rápidamente (Crutzen 2002; Kolbert 2011).



Figura 2. Localización del estado de Sinaloa, México.
Fuente: Modificado de Gobierno del estado de Sinaloa 1987.

El clima en el estado de Sinaloa

Al reconocer al calentamiento global como un elemento importante del cambio climático, es de preguntarse cuáles son las principales modificaciones en las condiciones ambientales de la región que se asocian al calentamiento global y su impacto en las actividades productivas en el estado de Sinaloa, que cuenta con una superficie de 58.328 km² y se ubica al noroeste de México, entre los 22° 30' 40" y los 27° 02' 42" de latitud norte, y los 105° 23' 20" y 109° 28' 48" de longitud oeste; al norte colinda con los estados de Sonora y Chihuahua, al sur con Nayarit, al este con Durango y al oeste con las aguas del Golfo de California y el Océano Pacífico (figura 2).

Las actividades económicas de la región dependen principalmente del sector agropecuario, que contribuye con cerca de 15% del Producto Interno Bruto —en adelante, PIB— estatal, lo que representa el 6,7% del sector agropecuario en el PIB nacional, mientras que la producción pesquera genera el 20% del volumen nacional y 24% en términos de su valor (Gobierno del Estado de Sinaloa 2011). Es evidente que la economía de la

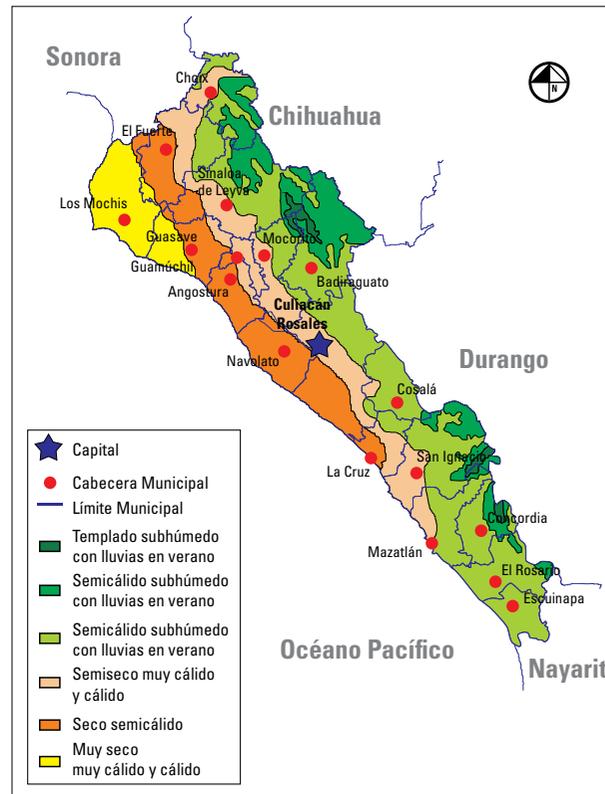


Figura 3. Mapa de los tipos de climas de Sinaloa.
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática —en adelante, INEGI— 2011a.

población sinaloense muestra una alta vulnerabilidad ante el cambio climático, ya que su estructura productiva —basada en el predominio del sector primario, con actividades agropecuarias y un sector de servicios encadenado a los ciclos agrícola y pesquero— genera una marcada estacionalidad y vulnerabilidad a los efectos adversos que causan los cada vez más recurrentes factores climáticos.

Entonces es ineludible, a partir de la geografía y vocación productiva, considerar dentro de los análisis de vulnerabilidad las principales amenazas del cambio climático en Sinaloa, tales como el incremento en la temperatura, frecuencia e intensidad de las tormentas, cambios en los patrones de lluvias y elevación del nivel del mar. Para esto es importante conocer las principales características climáticas de la región.

Clima

La variabilidad climática del estado de Sinaloa está determinada por su ubicación entre las zonas subtropical e intertropical, su cercanía con el océano Pacífico y una altitud que va desde la planicie costera hasta las

estribaciones de la Sierra Madre Occidental, donde se reportan alturas de 2.510 msnm. Estos factores propician variaciones de diversos tipos climatológicos, que basándose en el sistema de Köppen, modificado por García (1973), van desde el clima seco y semiseco en la llanura costera hasta el templado y semicálido subhúmedo en la sierra, distribuidos en forma de una franja orientada en dirección noroeste-sureste. El clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano, ocupa el 36% de la entidad (figura 3).

Temperatura

Los valores de las isothermas presentan una amplia variación, tanto de norte a sur como de la costa a la sierra, aunque la temperatura media en la mayor parte del territorio es de 24 °C. En la región existen zonas con temperaturas medias de 26 °C, localizadas al sur, en el municipio de Escuinapa, y al norte, dentro del municipio de El Fuerte. En las porciones de la Sierra Madre Occidental, hacia los límites con Chihuahua y Durango, se observan las menores temperaturas medias, las cuales están asociadas a los sitios de mayor altitud, con temperaturas que van de 14 °C a 22 °C (figura 4).

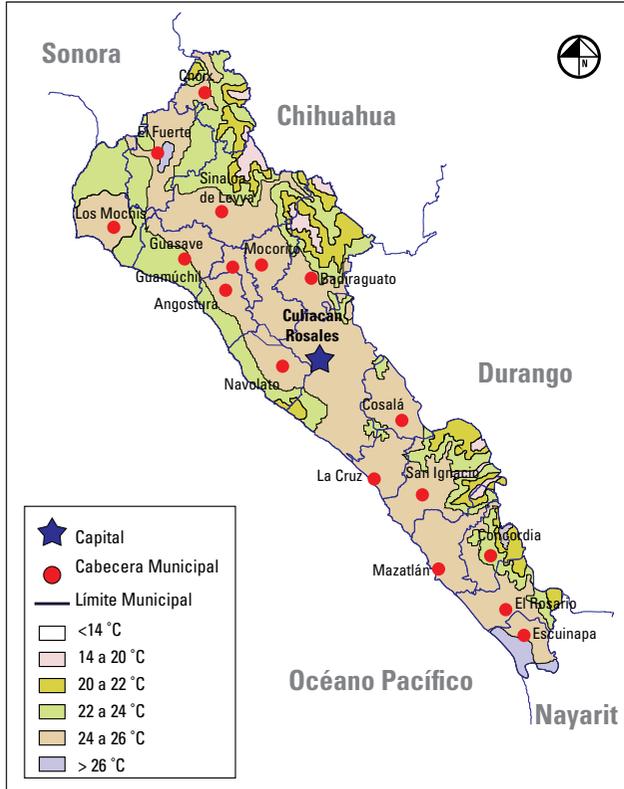


Figura 4. Mapa de temperatura media anual de Sinaloa. Fuente: INEGI 2011b.

Sin embargo, para entender mejor la variabilidad de la temperatura en la región no es suficiente hacerlo a partir de la distribución geográfica de la temperatura media anual, sino también es importante conocer su variación estacional. En el caso del valle Culiacán, uno de los más productivos en granos y hortalizas, por ejemplo, los valores de temperatura media mensual oscilaron de 20,6 °C en enero a 30,5 °C en julio, con un promedio anual de 25,9 °C durante el periodo 1995-2010 (figura 5).

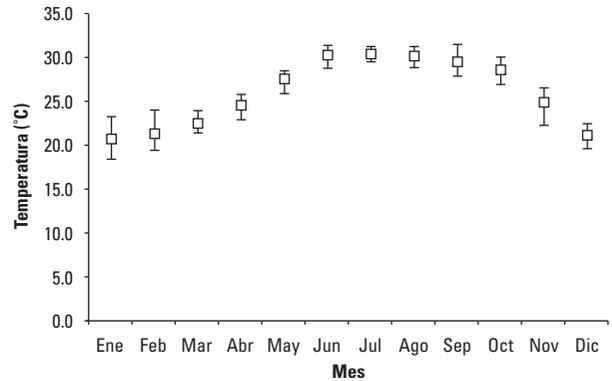


Figura 5. Temperatura promedio mensual (□), con valores mínimos y máximos (-), durante 1995-2010 en Culiacán, Sinaloa. Datos: Estación Meteorológica Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa.

Según Díaz-Coutiño (2011), la variabilidad de la temperatura en Sinaloa presenta un aumento de la temperatura máxima promedio durante el periodo 1959-2008, e indica que el comienzo de la década de los años ochenta es el punto de transición en el que la temperatura máxima brinca de los 31,1 °C a 33,1 °C. También señala que la tendencia de la temperatura máxima del periodo 1959-1981 fluctuó entre 29,8 °C y 32,3 °C, mientras en el periodo 1982-2008 estuvo entre 31,6 °C y 34,6 °C.

Precipitación

La precipitación ocurre de manera irregular a lo largo y ancho del territorio. Los registros pluviométricos promedio presentan valores que aumentan de norte a sur y conforme se asciende de la costa a la sierra. En la llanura costera, las isoyetas se presentan en forma paralela a la línea de costa y se incrementan de este a oeste; en su porción noroeste y centro, las lluvias van de 200 hasta 700 mm, mientras en su porción sureste sobrepasan los 1.000 mm. En la sierra, la variación de las isoyetas sigue la misma tendencia, salvo en algunas área de mayor elevación; al noroeste la precipitación es de 600 mm y en el sureste varía desde 800 hasta más de 1.500 mm. Estos valores de las isoyetas están

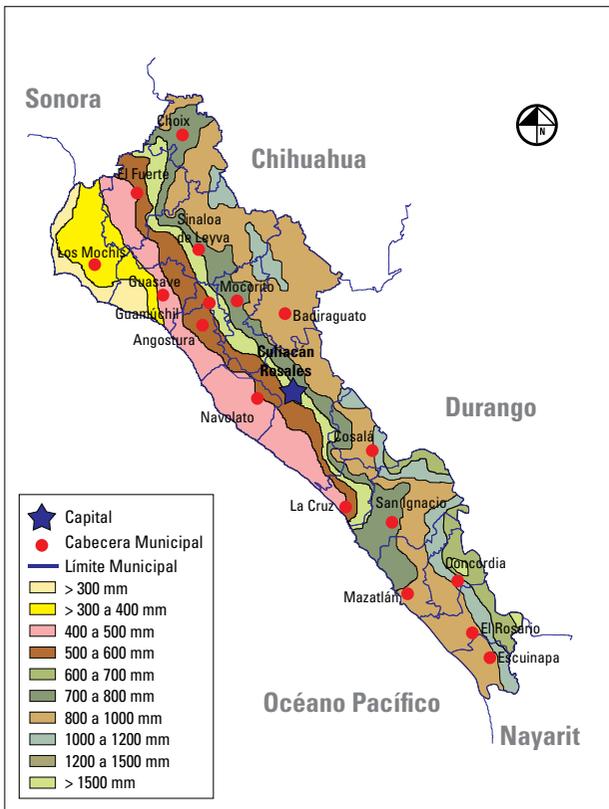


Figura 6. Mapa de precipitación promedio anual de Sinaloa. Fuente: INEGI 2011c.

relacionados con la distribución de los climas que se presentan en Sinaloa (figura 6).

La irregular distribución de las lluvias también se observa a lo largo del año. La precipitación media mensual en el valle de Culiacán durante 1995-2010 osciló de 1,1 mm, en marzo, a los 212,9 mm, en agosto, con un promedio anual de 663,1 mm; los meses con baja precipitación fueron marzo, abril y mayo, mientras que en julio, agosto y septiembre se registró el 81,7% de la precipitación anual, aunque la precipitación pluvial más alta durante este periodo fue de 1.054,4 mm en el 2004 (figura 7).

A nivel estatal, la tendencia de las precipitaciones durante el periodo 1980-2009 sigue una trayectoria que indica una pendiente negativa, de la que pudiera inferirse que el patrón de lluvias está cambiando y, como consecuencia, que los volúmenes disponibles a la salida de los ríos estarían amenazados y, por lo tanto, el almacenamiento de agua en las presas de Sinaloa (Díaz-Coutiño 2011).

Por ello, las estimaciones globales y el enfoque práctico general deben ser tomados con sumo cuidado para estudios que apoyan la toma de decisiones en programas

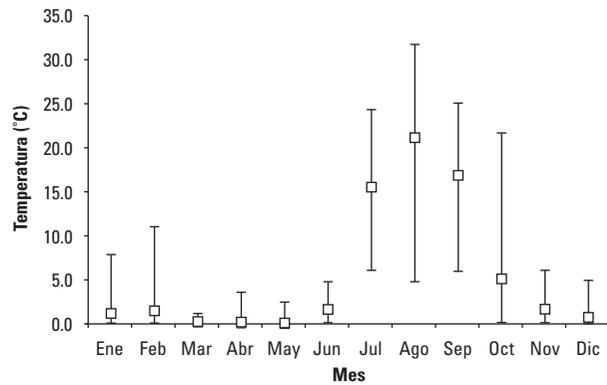


Figura 7. Precipitación media mensual (□), con valores mínimos y máximos (-), durante 1995-2010 en Culiacán, Sinaloa. Datos: Estación Meteorológica Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa.

de reducción de la vulnerabilidad de los sistemas (sociales, económicos, ecosistemas) o de adaptación, y, en algunos casos, de mitigación, que se desarrollen en la escala nacional, regional y local. Generalmente, tales programas involucran decisiones trascendentales de planificación de largo plazo y en inversiones, por lo que deben estar sustentadas en estudios e información que consideren adecuadamente tanto el nivel general como el de detalle de los escenarios futuros a usar (Pabón y Lozano 2005, 99).

Escenarios climáticos en el estado de Sinaloa

Un escenario climático es una representación lógica y simplificada de un posible clima futuro, basada en el entendimiento de cómo funciona el clima y la magnitud de la emisión de GEI (IPCC 2000; Cifuentes-Jara 2010). Los escenarios del clima, no obstante que poseen niveles de incertidumbre, constituyen herramientas útiles para evaluar los posibles impactos del cambio climático en el planeta. La clasificación más comúnmente utilizada es la del IPCC (2000), que se basa en escenarios de emisiones de GEI en los que se exploran alternativas de desarrollo que incorporan diversas condiciones y circunstancias de factores socioeconómicos, tecnológicos y ambientales para establecer proyecciones futuras del cambio climático (tabla 1).

Los escenarios sirven como base para los modelos de simulación climática bajo condiciones de calentamiento global. Los modelos numéricos de circulación general, que representan procesos físicos en la atmósfera y el océano, constituyen las herramientas fundamentales para simular la respuesta del sistema climático global

Tabla 1. Clasificación de los escenarios de emisiones de GEI y diversas hipótesis relativas al desarrollo socioeconómico en el planeta.

Clasificación	Emisiones	Escenario
A1B	Media-alta	Rápido crecimiento económico regional, con la introducción de tecnologías nuevas y eficientes. Existe un balance entre el uso de fuentes de energía fósil y no fósil.
A2	Alta	Existe crecimiento constante de la población. El desarrollo económico está regionalmente orientado y el cambio tecnológico es muy fragmentado y más lento que en otros escenarios.
B1	Media-baja	Misma población global y cambio en las estructuras económicas. Uso de fuentes de energía eficientes y soluciones globales hacia la economía, la sociedad y el ambiente sustentable.
B2	Baja	Soluciones locales para la economía, la sociedad y el ambiente sustentable. Está orientado hacia la protección ambiental y la igualdad social que se enfoca en niveles locales y regionales.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología —en adelante, INE— 2011.

Tabla 2. Escenarios de la tendencia de temperatura y precipitación en Sinaloa.

Escenario	Temperatura media anual	Precipitación total anual
2020	Aumentará entre 0,5 °C y 1,0 °C	Variará entre +10% y -10%
2050	Aumentará entre 1,5 °C y 2,5 °C	Variará entre +10% y -20%
2080	Aumentará entre 2 °C y 4 °C	Disminuirá entre 5% y 30%

Fuente: INE 2011.

al incremento en la concentraciones de los GEI, y son de los principalmente utilizados por el IPCC (Sánchez-Cohen et ál. 2011).

Los estudios sobre los escenarios del clima en los que se incluye a la región de Sinaloa son escasos y con discrepancias entre sí. El INE (2011), a partir de información estadística desde 1901 hasta el 2000, y de acuerdo a los escenarios B1, A1B y A2, establece para el territorio sinaloense un incremento de la temperatura entre 0,5 °C y 1,0 °C para el 2020, y entre 2 °C y 4 °C para el 2080; mientras que para la lluvia indica una variación de +10% a -20% para el 2050, y una disminución entre 5% y 30% para el 2080 (tabla 2).

Mientras que en el escenario del clima para Mesoamérica en el 2080, que incluye al noroeste de México, donde se encuentra localizado Sinaloa, se indica que se presentará un incremento de la temperatura anual de 1,5 °C a 1,7 °C en el escenario optimista (B2) y pesimista (A2), respectivamente; mientras que en la precipitación se tiene una tendencia a incrementarse del escenario A2 al B2 entre 29,9% y 33,1% (Anderson et ál. 2008). En este escenario, el riesgo climático que se presenta para la economía y la población sinaloense puede ser por exceso de lluvia, ya que en el caso de la precipitación no solo es un problema la cantidad sino también su estacionalidad.

Gay-García et ál. (2008) presentan una serie de mapas, disponibles en red, con el fin de que diferentes usuarios conozcan algunos escenarios de cambio climático para estudios de vulnerabilidad y adaptación en México, utilizando proyecciones para los años 2030 y 2050; en el caso del territorio sinaloense se observa que para el año 2030 se esperaría un incremento de 1,0 °C a 1,5 °C y una reducción hasta del 25% en la precipitación anual. Un escenario similar al de Anderson et ál. (2008) en lo que respecta a la temperatura, y al del Instituto Nacional de Ecología (INE 2011) en lo que corresponde a la precipitación.

Es relevante reconocer que los modelos climáticos globales utilizados por el IPCC no presentan la resolución más adecuada para evaluar efectos a nivel regional; tienen ciertos sesgos en la simulación del clima en áreas de topografía compleja y en los trópicos, y las incertidumbres de sus proyecciones se transmiten a la escala regional al utilizar técnicas de reducción de escala o reescalado (*downscaling*) para aumentar su resolución (Cifuentes-Jara 2010; Sánchez-Cohen et ál. 2011). Por lo tanto, antes de la reducción de escala es necesario cuantificar, mediante el diseño de métricas climáticas (Brekke et ál. 2008; Gleckler et ál. 2008), la habilidad de uno o varios modelos climáticos globales

para simular el clima observado en la región de interés (Sánchez-Cohen et ál. 2011).

El análisis de métricas es una guía para identificar las fortalezas y debilidades de modelos individuales y permite seleccionar aquellos que mejor simulan el clima de una región en particular; además, la obtención de proyecciones regionales con alguna técnica de reducción de escala deberá llevarse a cabo, de preferencia, solo con los modelos climáticos globales que simulen adecuadamente el clima de la región en estudio (Sánchez-Cohen et ál. 2011). Dado que es imposible probar la exactitud de la predicción de un modelo de clima futuro, el único método para juzgar su rendimiento es correrlo hacia el pasado y verificar si las observaciones que se hicieron corresponden con los resultados del modelo. Esta es la manera general como se validan los modelos de circulación global.

Arreola y Cavazos (2009), como parte del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California, realizaron una evaluación de métricas climáticas de los 23 modelos del IPCC (2007) en el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos de América para evaluar la temperatura y la precipitación simulada en esta región durante 1961-1990, a diferentes escalas espacio-temporales, para seleccionar seis de ellos que reprodujeron mejor el clima de la región de Baja California (BCCR2 de Noruega, cGCM4 de Canadá, CNRM-C3 de Francia, CSIRO-MK3 de Australia, MIROC3.2 de Japón y el HADCM de Gran Bretaña).

Por otra parte, en los distintos escenarios del cambio climático asociado con el calentamiento global, se deben también considerar modificaciones relacionadas con cambios en la intensidad de tormentas, huracanes y eventos climáticos extremos. El estado de Sinaloa es vulnerable a la influencia de ciclones tropicales que se generan en el océano Pacífico nororiental (golfo de Tehuantepec) y que se manifiestan por vientos intensos, oleaje ciclónico, marea de tormenta y lluvias torrenciales que provocan inundaciones y deslaves. Entre 1960 y 2009 se tienen diversos eventos hidro-meteorológicos que impactaron la región, entre ellos se incluyen 24 tormentas tropicales y huracanes de distinta categoría (tabla 3).

La fuerza destructiva de algunos de ellos en los últimos años ha provocado en el imaginario colectivo la creencia de que estos meteoros se han incrementado en frecuencia y/o intensidad como consecuencia del cambio climático global. Sin embargo, Díaz-Castro (2010) señala que no existe una tendencia clara hacia el aumento en intensidad o frecuencia de los ciclones tro-

picales en México. Aunque Andrade Jr. y Sellers (1988) indican que, ante el cambio climático global, dado un aumento de la temperatura del mar, podría preverse un incremento en frecuencia o en intensidad de los ciclones tropicales.

Este escenario es más complicado si se consideran cambios interanuales del sistema climático, como El Niño/Oscilación del Sur (ENSO): un calentamiento y enfriamiento cíclico de la superficie del océano Pacífico central y oriental. Cuando esta región tiene una temperatura más cálida, el evento es conocido como “El Niño”, y provoca fuertes lluvias en América del Sur, pero severas sequías en África y al este de Australia; mientras que en otras ocasiones, cuando la temperatura de estas aguas se vuelve más fría, el evento se conoce como “La Niña”, lo que genera sequías en América del Sur y grandes lluvias en el este de Australia.

Entre los efectos del ENSO para la región del estado de Sinaloa se tiene que Reyes y Mejía-Trejo (1991) encontraron que durante su fase cálida (El Niño) en el Pacífico, se presentan cambios en las trayectorias de los ciclones tropicales, favoreciendo que pasen por la parte central de la península de Baja California, mientras que Villanueva-Díaz et ál. (2009) establecen que el impacto de la fase cálida (El Niño) en esta región de México incrementa la precipitación, y la fase fría (La Niña) la disminuye, aunque este efecto no ha sido constante a través del tiempo.

Repercusiones del cambio climático en el estado de Sinaloa

Es muy importante conocer los cambios actuales y futuros del clima en determinada región geográfica con el fin de que se lleven a cabo investigaciones más detalladas sobre los escenarios más probables y sus impactos para sustentar mejor la planificación de largo plazo y las medidas de adaptación a dichos cambios (Pabón 2003). La poca investigación desarrollada y la información disponible sobre las repercusiones del cambio climático en Sinaloa se encuentran dispersas y, en algunos casos, no existe certeza acerca de la misma. Por lo general, se acepta un incremento de la vulnerabilidad a inundaciones y otros desastres naturales, así como cambios en la disponibilidad de agua y amenazas en el sector agropecuario (Flores-Campaña y Ramírez-Soto 2011).

El INE (2011) reconoce que en el periodo 1980-2001 los principales desastres de origen hidro-meteorológico

Tabla 3. Incidencia de ciclones tropicales en Sinaloa 1960 a 2009. TT (tormenta tropical).

Año	Nombre	Categoría	Sitio de ingreso a tierra	Duración
1965	Hazel	TT	Al N de Mazatlán	24-26 de septiembre
1968	Naomi	Huracán (1)	50 km al WSW de Mazatlán	10-13 de septiembre
1969	Jennifer	Huracán (1)	Sobre Mazatlán	4-12 de octubre
1971	Katrina	TT	165 km al SW de Culiacán	10-12 de agosto
1971	Priscilla	Huracán (1)	SE de Mazatlán y N de Nayarit	9-13 de octubre
1974	Orlene	Huracán (2)	75 km al SSW de Culiacán	21-24 de septiembre
1975	Olivia	Huracán (2)	SE de Mazatlán sobre Villa Unión	22-25 de octubre
1976	Noami	TT	50 km al SW de Mazatlán	24-29 de octubre
1981	Knut	TT	N de Mazatlán, Sin.	19-21 de septiembre
1981	Norma	Huracán (2)	N de Mazatlán, Sin.	8-12 de octubre
1981	Otis	Huracán (1)	80 km al SE de Mazatlán	24-30 de octubre
1982	Paul	Huracán (1)	Al centro y N de Sinaloa	30 de septiembre
1983	Adolph	Huracán/TT	80 km al S de Mazatlán	20-28 de mayo
1983	Tico	Huracán (4)	NW de Mazatlán, Sin.	11-19 de octubre
1985	Waldo	Huracán (1)	N de Mazatlán, S de Cosalá	7-9 de octubre
1994	Rosa	Huracán (2)	Al SSE Mazatlán y NW Escuinapa	11-14 de octubre
1995	Ismael	Huracán (1)	Al N de Sinaloa y S de Sonora	12-16 de septiembre
2000	Norman	TT	E-NW de Mazatlán	19-22 septiembre
2003	Nora	TT	S-SE La Cruz, Elota.	1-9 octubre
2006	Lane	Huracán (3)	S-SE La Cruz, Elota	13-17 septiembre
2006	Paul	TT	Al N de Sinaloa y S de Sonora	23-24 octubre
2008	Lowell	TT	Al N de Sinaloa y S de Sonora	6-11 septiembre
2008	Norbert	Huracán (1)	Al N de Sinaloa y S de Sonora	4-12 octubre
2009	Rick	Huracán (5)*	Al N de Mazatlán	15-21 de octubre

*Se degrada a tormenta tropical en Sinaloa el 21/10/2011.

Datos: Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SAHR), hasta 1985, y resúmenes de la temporada de ciclones tropicales (1994-2009) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

en Sinaloa fueron inundaciones (30), sequías (25) y huracanes (20), además de tempestades, vendavales, lluvias, olas de calor, sequías e incendios. También menciona que durante el periodo 2000-2004 las amenazas hidro-climáticas en Sinaloa representaron pérdidas de 505.580 hectáreas de cultivos y/o pastizales dañadas y 1.690 cabezas de ganado por lluvias torrenciales e inundaciones, sequías e incendios forestales (tabla 4).

Las cifras anteriores no tienen comparación con el reciente desastre provocado por el frente frío que afectó la región, el 3 y 4 de febrero del 2011, con temperaturas bajo cero por más de cinco horas de manera repetida durante estos dos días, lo que ocasionó severos daños en la agricultura, fruticultura, ganadería y pesca. Este descenso brusco en la temperatura provocó

la mayor helada en los últimos cincuenta años en Sinaloa, con pérdidas en el ciclo otoño-invierno de 461.184 hectáreas con siniestro total y de 129.980, con siniestro parcial, de 749.797 hectáreas sembradas, estimándose un daño económico por MXN 40 mil millones de pesos (García 2011).

Conocer el impacto del calentamiento global sobre la actividad agrícola es complicado, ya que es difícil de pronosticar la interacción entre incremento de la concentración de CO₂ y aumento de la temperatura sobre la vegetación terrestre. Según Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (1997), el límite latitudinal de los bosques espinosos se desplazaría hacia el sur, principalmente en la vertiente del Pacífico, ya que se verían favorecidos por las condiciones de mayor aridez. Por su parte, Medina (2009)

Tabla 4. Impacto de las amenazas hidro-climáticas en Sinaloa 2000-2004.

Evento	Impactos	Año
Sequía	Sin registros	2000
Sequía	65.000 hectáreas de cultivos y/o pastizales dañadas y 190 cabezas de ganado pérdidas	2002
Lluvias torrenciales e inundaciones	20.000 hectáreas de cultivos dañadas y/o pastizales	2002
Sequía	17 municipios afectados. 420.000 hectáreas de cultivo dañadas y 1.500 cabezas de ganado perdidas	2003
Incendios forestales	140 hectáreas de cultivo y/o pastizales dañadas	2003
Sequía	Afectó a 12 municipios. Afectaciones al sector ganadero	2004
Incendios forestales	440 hectáreas de cultivo y/o pastizales dañadas	2004

Fuente: Modificado de INE 2011.

señala que, dependiendo de su metabolismo fotosintético, las especies herbáceas C₄ aumentarán su predominio en zonas bajas, mientras que las C₃ alcanzarán mayor predominio a alturas intermedias.

Los pronósticos de vulnerabilidad del rendimiento de cultivos de temporal, en relación con un escenario de duplicación del CO₂ en la atmósfera al final del siglo XXI y la alteración de la fertilidad del suelo atribuible al cambio climático, estiman incrementos en el rendimiento de hasta 463 kg·ha⁻¹ en las zonas áridas y semiáridas de México, y disminuciones hasta de 392 kg·ha⁻¹ en las zonas húmedas y semihúmedas, para el caso del maíz (C₄); y, en general, incrementos en la producción del trigo (C₃) de hasta 1.100 kg·ha⁻¹ (Castillo-Álvarez et ál. 2007).

Igualmente, con el cambio climático el ciclo de siembra de maíz en Sinaloa se va a reducir en un mes para fin de siglo, a partir del incremento en la temperatura y de la escasez de lluvia (Ojeda-Bustamante 2010). Aunque Flores-Gallardo (2010) propone, como alternativas en el cultivo del maíz para disminuir el impacto del cambio climático bajo los escenarios A1B y A2, variación en las fechas de siembra, un ajuste en los calendarios de riego y el uso de variedades más resistentes al estrés térmico y de diferente duración en su ciclo fenológico.

Otra amenaza es el ascenso del nivel del mar en el litoral de Sinaloa, en donde gran parte de su población y economía se localiza en la planicie costera, que no solo se limita a la inundación de algunas áreas. Los asentamientos humanos localizados en las zonas bajas de la costa se verían afectados con mayor frecuencia por las pleamares, oleaje y otras variaciones de la línea de costa. El aumento en el nivel del mar tendrá grandes repercusiones en la zona federal marítimo terrestre, sobre la

que se encuentra la mayor parte de la infraestructura turística de la región. El turismo en Sinaloa representa 11,9% del PIB estatal, y participa con 8% a nivel nacional. Mazatlán, principal destino de sol y playa del estado, ocupa el primer lugar entre los destinos de playa familiares (Gobierno del Estado de Sinaloa 2011).

Además, como consecuencia del ascenso del nivel del mar, se puede afectar la zona costera por la erosión y salinización de los mantos freáticos, cambios en la vegetación y daños a los humedales costeros, entre otros. Se desconoce el impacto en lagunas costeras y estuarios. También se ignoran sus repercusiones en las playas donde desova la tortuga marina, la zona de petroglifos de Las Labradas, las 93 islas y 329 cuerpos insulares, como islotes, rocas, cayos, farallones y arrecifes, que forman parte del Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California (Flores-Campaña et ál. 2003), y las miles de hectáreas de los estanques donde se producen 37.000 toneladas de camarón de acuicultura (Gobierno del Estado de Sinaloa 2011, 201).

Ante estos posibles desenlaces, resulta de gran importancia reconocer que a nivel mundial se tiene un mapeo de las áreas potencialmente afectadas por el incremento del nivel del mar (Weiss y Overpeck 2009) y que, en el golfo de California, se han identificado las regiones vulnerables y los sitios de mayor riesgo, considerando información de altimetría, geomorfología, uso de suelo, vegetación y densidad poblacional (Díaz-Castro 2009).

Entre estas regiones de riesgo se encuentra el estado de Sinaloa por presentar planicies costeras amplias (Carranza-Edwards et ál. 1975; Lankford 1977); tan solo por esta característica tiene sitios vulnerables a un incremento del nivel del mar, entre ellos: Topolobampo-Ceuta, Mazatlán, Huizache-Caimanero y Laguna Grande-

Teacapán (Díaz-Castro 2009). Es primordial conocer la magnitud del aumento del nivel del mar y prever el impacto posible, así como también identificar vulnerabilidades y plantear medidas de adaptación y mitigación en las zonas y sectores socioeconómicos más vulnerables a lo largo del litoral costero de Sinaloa.

Pabón y Lozano (2005, 99) señalan que las evaluaciones del posible impacto del nivel del mar en lugares y sectores concretos de la costa se deben basar en información más real que la suministrada por los escenarios globales. Esto implica que en la escala local se debe profundizar en los estudios sobre el ascenso del nivel del mar y sobre los procesos locales que pueden ser causa de incertidumbre con el fin de reducirlos, ya que las medidas de adaptación deben considerar programas e inversiones concretas y costosas, por lo que se deben considerar escenarios ajustados a las realidades regionales y la particularidad local del fenómeno de ascenso del nivel del mar.

Conclusiones y recomendaciones

Ante la certeza de que el calentamiento global del sistema climático es incuestionable y de que los fenómenos asociados al cambio climático presentan evidentes consecuencias en los sistemas naturales y sociales, es claro que aún falta mucho por conocer en esta materia, principalmente a escala regional. Los retos de investigación en este tema son mayúsculos; es por ello recomendable la integración un grupo de trabajo transdisciplinario que incorpore nueva información sobre el tema para enriquecer nuestro entendimiento del problema en el territorio sinaloense.

Entre las tareas prioritarias de este grupo de trabajo estarían, además de un inventario de las emisiones de GEI en el estado de Sinaloa y de las medidas de mitigación para su reducción, la evaluación de riesgo y vulnerabilidad, así como de las estrategias de adaptación de los asentamientos humanos y de los sectores agropecuario y pesquero ante los impactos del cambio climático, particularmente ante diferentes escenarios de ascenso del nivel del mar y del impacto de los fenó-

menos hidro-meteorológicos extremos en las actividades productivas bajo diferentes escenarios de cambio climático a nivel regional.

En este contexto, es relevante considerar el fomento de capacidades y asistencia técnica a especialistas locales en la generación de escenarios de cambio climático a escala regional, dado que, no obstante la reconocida capacidad de los modelos climáticos globales para replicar condiciones climáticas, es necesario reducir su escala, para aumentar la resolución de los datos a nivel regional, después de estimar, a través de métricas climáticas, la capacidad de distintos modelos para suponer el clima registrado en el territorio sinaloense. Si se define un modelo acorde a las condiciones ambientales y sociales de Sinaloa, los escenarios del clima establecidos constituirían herramientas útiles para que los diferentes niveles del gobierno y la comunidad local puedan planificar mejor las estrategias e iniciativas que faciliten la adaptación al cambio climático en la región.

Al establecer los elementos técnicos en materia de impactos y vulnerabilidad, así como opciones de adaptación al cambio climático, se generan datos confiables y precisos para esta región, que constituirían los insumos básicos para el funcionamiento y toma de decisiones del Consejo Estatal de Cambio Climático —que es uno de los objetivos propuestos en el Plan Estatal de Desarrollo 2011-2016 (Gobierno del Estado de Sinaloa 2011, 158)—, además de contribuir sólidamente en el desarrollo del Plan de Acción para el Cambio Climático en Sinaloa, y a que se incorpore activamente a la entidad en la Estrategia Nacional de Cambio Climático del gobierno federal, como parte de las prioridades establecidas a nivel nacional.

Agradecimientos

A. R. Sánchez-Bañuelos por la información de la Estación Meteorológica de la Escuela de Biología (UAS) y M. Sarabia-Angulo de INEGI, Sinaloa, y a M. A. Camarillo-González por los mapas del clima de Sinaloa. Así como a C. Covantes-Rodríguez y a dos revisores anónimos por sus observaciones y críticas al manuscrito.

Luis Miguel Flores Campaña

Maestría en Ciencias del Mar por la Universidad Nacional Autónoma de México y Doctorado en Ciencias para el Desarrollo Sustentable por la Universidad de Guadalajara. Biólogo Pesquero egresado de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde labora como profesor e investigador desde 1981. Sus actividades de investigación están orientadas a ecología de comunidades litorales y gestión ambiental de ecosistemas costeros.

Juan Francisco Arzola-González

Biólogo del Instituto Tecnológico de Los Mochis, Sinaloa. Maestría en Ciencias Pesqueras por la Universidad Autónoma de Sinaloa y doctorante en Biotecnología. Profesor e Investigador de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa desde 1994. Sus actividades de investigación están orientadas a la ecología de invertebrados marinos y el cultivo de camarón.

Milagros Ramírez-Soto

Bióloga de la Escuela de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Actualmente en esta misma institución realiza su Maestría en Ciencias Agropecuarias. Desde el 2008 es investigadora en el Campo Experimental Valle de Culiacán, del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Sus actividades de investigación están centradas en la distribución geográfica de los patógenos de complejo rabia del garbanzo y en fitopatología molecular de leguminosas.

Amador Osorio-Pérez

Ingeniero Bioquímico de la Universidad Autónoma de Sinaloa, con Maestría en Química Analítica y Doctorado en Química Biomédica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesor e Investigador de la Escuela de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa desde 1988, en donde desarrolla dos líneas de investigación: biología y aprovechamiento de los recursos naturales, y biodiversidad, conservación y restauración de ecosistemas.

Referencias

- Achondo-Larraín, Bárbara. 2007. Informe n.º 1. Panorama General: Síntesis sobre cambio climático. *Revista Ambiente y Desarrollo* 23 (2): 53-60.
- Anderson, Eric R.; Emil A. Cherrington; Africa I. Flores; Joel B. Pérez; Roberto Carrillo y Emilio Sempris. 2008. *Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico, and the Dominican Republic*. CATHALAC/USAID. Panamá: Digital Desing Group.
- Andrade Jr., Edward R. y William D. Sellers. 1988. El Niño and its Effect on Precipitation in Arizona and Western New Mexico. *Journal of Climatology* 8 (4): 403-410.
- Arreola, José Luis y Tereza Cavazos. 2009. *Análisis de métricas climáticas para la evaluación de los modelos del IPCC en el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos*. Informe técnico, Departamento de Oceanografía Física/CICESE. Ensenada, Baja California, México.
- Brekke, Levi D.; Michael D. Dettinger; Edwin P. Maurer y Michael Anderson. 2008. Significance of model credibility in estimating climate projection distributions for regional hydroclimatological risk assessments. *Climatic Change* 89 (3-4): 371-394.
- Carranza-Edwards, Arturo; Mario Gutiérrez-Estrada y Rafael Rodríguez Torres. 1975. Unidades morfoestructónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales Centro Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México 2 (1): 81-88.
- Castillo-Álvarez, Marcial; Iouri Nikolskii-Gavrilov; Carlos Alberto Ortiz-Solorio; Humberto Vaquera-Huerta; Gustavo Cruz-Bello; Enrique Mejía-Sáenz y Antonio González-Hernández. 2007. Alteración de la fertilidad del suelo por el cambio climático y su efecto en la productividad agrícola. *Interciencia* 32 (6): 368-376.
- Cifuentes-Jara, Miguel. 2010. *ABC del cambio climático en Mesoamérica*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (s.f). *Ciclones. Información histórica*. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). México. http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=46
- Crutzen, Paul Jozef. 2002. Geology of Mankind. *Nature* 415: 23.
- Díaz-Castro, Sara Cecilia. 2009. Efecto del cambio climático en el nivel medio del mar en México. *El Sudcaliforniano* 2 (33), La Paz, B.C.S.
- Díaz-Castro, Sara Cecilia. 2010. Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan México. *Interciencia* 35 (4): 306-310.
- Díaz-Coutiño, Reynol. 2011. El futuro amenazado: Los inventarios hídricos de Sinaloa. En *Seminario Estatal de Análisis Estratégico para el Desarrollo*, eds. Juan de Dios Trujillo-Félix y Gerardo López-Cervantes, 1-16. México: UAS.
- Flores-Campaña, Luis Miguel; Mónica Anabel Ortiz-Arellano y Juan Francisco Arzola-González. 2003. Isla e islotes de Sinaloa. En *Atlas de los Ecosistemas de Sinaloa*, eds. Juan Luis Cifuentes-Lemus y José Gaxiola-López, 111-125. México: El Colegio de Sinaloa.
- Flores-Campaña, Luis Miguel y Milagros Ramírez-Soto. 2011. Cambio climático en Sinaloa: Problemática y perspectivas. En *Seminario Estatal de Análisis Estratégico para el Desarrollo*, eds. Juan de Dios Trujillo-Félix y Gerardo López-Cervantes, 17-48. México: UAS.
- Flores-Gallardo, Hilario. 2010. *Impacto del cambio climático en los distritos de riego de Sinaloa*. Maestría en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.
- García, Enriqueta. 1973. *Modificación al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, Germán. 2011. Las heladas, un desastre para el campo sinaloense. Campo abierto. *El Debate*. Culiacán, México, 14 de febrero. <http://www.debate.com.mx> (consultado en febrero 2011)
- Gay-García, Carlos. 2008. Sustentabilidad y cambio climático. Los retos del nuevo siglo. En *Diálogos Fórum Universal de las Culturas Monterrey 2007. Recursos Naturales y Sustentabilidad*, coord. Juan Manuel Alcocer-González, 15-24. México: Fondo Editorial de Nuevo León.
- Gay-García, Carlos; Ana Cecilia Conde Álvarez y Óscar Sánchez. 2008. Escenarios de Cambio Climático para México. Temperatura y Precipitación. http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=74 (consultado en febrero del 2012).
- Gleckler, Peter J.; Karl E. Taylor y Charles M. Doutriaux. 2008. Performance metrics for climate models. *Journal of Geophysical Research* 113, D06104, DOI:10.1029/2007JD008972.
- Gobierno del Estado de Sinaloa. 1987. *Plano político oficial del estado de Sinaloa*. México.
- Gobierno del Estado de Sinaloa. 2011. *Plan estatal de desarrollo de Sinaloa 2011-2016*. México. http://123ok.us/plan_estatal_de%20desarrollo_sinaloa_2011_2016/archivos/PED_2011_2016_Sinaloa.pdf (consultado en septiembre del 2011).
- Goddard Institute for Space Studies (GISS) y National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2011. <http://data.giss.nasa.gov> (consultado en agosto del 2011).
- Hall-Spencer, Jason M.; Riccardo Rodolfo-Metalpa; Sophie Martin; Emma Ransome; Maoz Fine; Suzanne M.

- Turner; Sonia J. Rowley; Dario Tedesco y Maria-Cristina Buia. 2008. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature* 454: 96-99.
- Harvey, Celia A. 2008. Cambio climático y conservación de la biodiversidad en Mesoamérica: ¿Qué podemos hacer para conservar la biodiversidad en un clima cambiante? Conferencia magistral, XII Congreso Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. El Salvador, 10-14 de noviembre de 2008.
- Iglesias-Prieto, Roberto. 2005. *Calentamiento global y blanqueamiento de coral*. <http://www.jornada.unam.mx/2005/01/31/eco-d.html> (consultado en octubre del 2011).
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2011. *El cambio climático en México: información por estado y sector. Sinaloa*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. http://www2.ine.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/sinaloa.html (consultado en octubre del 2011).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2011a. *Mapa de climas de Sinaloa*. México. <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/sin/clim.cfm?c=444&e=05> (consultado en octubre del 2011).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2011b. *Mapa de temperatura media anual de Sinaloa*. México. <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/sin/temperat.cfm?c=444&e=25> (consultado en octubre del 2011).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2011c. *Mapa de precipitación promedio anual de Sinaloa*. México. <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/sin/precipit.cfm?c=444&e=06> (consultado en octubre del 2011).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. *Special report on emissions scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. Nakićenovič, N. y R. Swart. Cambridge, UK, and Nueva York: Cambridge University.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Suiza: IPCC.
- Key, Robert M.; Alex Kozyr; Chris L. Sabine; Kitack Lee, Rik Wanninkhof; John L. Bullister; Richard A. Feely; Frank J. Millero; Calvin Mordy y Tsung-Hung Peng. 2004. A global ocean carbon climatology: results from Global Data Analysis Project (GLODAP). *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB4031: 1-23. DOI: 10.1029/2004GB002247.
- Kolbert, Elizabeth. 2011. Bienvenido al Antropoceno. La era del hombre. *National Geographic en Español* 28 (3): 2-25.
- Lankford, Robert R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. En *Estuarine Processes*, ed. M. Wiley, 182-215. New York: Academic.
- Medina, Ernesto. 2009. Pregúntale al ecólogo. *Boletín Informativo del Centro Internacional de Ecología Tropical* 1 (1): 3. http://www.ivic.ve/ecologia/CIET/boletin_informativo.
- Ojeda-Bustamante, Waldo. 2010. Proyecciones y repercusiones del cambio climático en la agricultura en México. Conferencia en la Expoagro Sinaloa 2010. México, 3-6 de febrero.
- Orr, James C.; Victoria J. Fabry; Olivier Aumont; Laurent Bopp; Scott C. Doney; Richard A. Feely; Anand Gnanesikan; Nicolas Gruber; Akio Ishida; Fortunat Joos; Robert M. Key; Keith Lindsay; Ernst Maier-Reimer; Richard Matear; Patrick Monfray; Anne Mouchet; Raymond G. Najjar; Gian-Kasper Plattner; Keith B. Rodgers; Christopher L. Sabine; Jorge L. Sarmiento; Reiner Schlitzer; Richard D. Slater; Ian J. Totterdell; Marie-France Weirig; Yasuhiro Yamanaka y Andrew Yool. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437 (7059): 681-686.
- Pabón, José Daniel. 2003. El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía* 12 (1-2): 97-106. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía.
- Pabón, José Daniel y José A. Lozano. 2005. Aspectos relacionados con las estimaciones globales y regionales del ascenso del nivel del mar, y su aplicación en Colombia. *Cuadernos de Geografía* 14: 111-119. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía.
- Rekacewicz, Philippe. 2005. Precipitation changes: Trends over land from 1900 to 2000. United Nations Environment Programme/GRID-Arendal Maps & Graphics Library. http://maps.grida.no/go/graphic/precipitation_changes_trends_over_land_from_1900_to_2000 (consultado en septiembre del 2011).
- Reyes, Sergio y Adán Mejía-Trejo. 1991. Tropical perturbations in the eastern pacific and the precipitation field over north-western Mexico in relation to the ENSO phenomenon. *International Journal of Climatology* 11 (5): 515-528.
- Riebesell, Ulf; Ingrid Zondervan; Björn Rost; Philippe D. Tortell; Richard E. Zeebe y François M. M. Morel. 2000. Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂. *Nature* 407: 364-367.

- Sánchez-Cohen, Ignacio; Gabriel Díaz-Padilla; María Tereza Cavazos-Pérez; Guadalupe Rebeca Granados-Ramírez y Eugenio Gómez-Reyes. 2011. *Elementos para entender el cambio climático y sus impactos*. Cámara de Diputados, LXI Legislatura/INIFAP/CICESE/UNAM/UAM. México: Miguel Ángel Porrúa.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. *Dirección general de control de ríos e ingeniería de seguridad hidráulica*. México
- Thompson, L. G.; H. H. Brecher; E. Mosley-Thompson; D. R. Hardy y B. G. Mark. 2009. Glacier loss on Kilimanjaro continues unabated. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (47): 19770-19775.
- Informal Consultative Process on Oceans and the Law of the Sea (Unicpolos). 2011. *Oceans and the law of the sea. Report of the Secretary-General*. United Nations Open-ended Informal Consultative Process on Oceans and the Law of the Sea. New York. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/66/70/Add.1 (consultado en septiembre del 2011).
- Villanueva-Díaz, José; Peter Z. Fulé; Julián Cerano-Paredes; Juan Estrada-Ávalos e Ignacio Sánchez-Cohen. 2009. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Ciencia Forestal en México* 34 (105): 39-7.
- Villers-Ruiz, Lourdes e Irma Trejo-Vázquez. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in México. *Climate Research* 9 (1-2): 87-93.
- Warrick, Richard A.; Christian Le Provost; Mark F. Meier; Johannes Oerlemans y Philip L. Woodworth. 1996. Changes in sea level. En *Climate Change 1995: The Science of Climate Change (Contribution of WCI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change)*, eds. John Theodore Houghton, L. Gylvan Meira Filho, Bruce A. Callander, Neil Harris, Arie Kattenberg y Kathy Maskell, 359-405. Inglaterra: Cambridge University.
- Weiss, Jeremy L. y Jonathan T. Overpeck. 2009. Mapping areas potentially impacted by sea level rise. *Environmental Studies Laboratory*, University of Arizona. http://www.geo.arizona.edu/dgesl/research/other/climate_change_and_sea_level/sea_level_rise/north_america/slr_north_america_a_s.htm (consultado en septiembre del 2011).
- Wootton, J. Timothy; Catherine A. Pfister y James D. Forester. 2008. Dynamic patterns and ecological impacts of declining ocean pH in a high resolution multi-year dataset. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (48): 18848-18853.