

Estimaciones de cambio climático para Michoacán.

Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca



Cuauhtémoc Sáenz-Romero, Gerald E. Rehfeldt, Nicholas L. Crookston,
Pierre Duval, Jean Beaulieu

Directorio

Leonel Godoy Rangel
Gobernador Constitucional del Estado de Michoacán

Fidel Calderón Torreblanca
Secretario de Gobierno

Ricardo Humberto Suárez López
Secretario de Finanzas y Administración

Minerva Bautista Gómez
Secretaria de Seguridad Pública

Isidoro Ruíz Argaíz
Secretario de Desarrollo Económico

Jaime Genovevo Figueroa Zamudio
Secretario de Turismo

Ma. del Carmen Trejo Rodríguez
Secretaria de Desarrollo Rural

Desiderio Camacho Garibo
Secretario de Comunicaciones y Obras Públicas

Catalina Rosas Monge
Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente

Graciela Carmina Andrade García Peláez
Secretaria de Educación

Jaime Hernández Díaz
Secretario de Cultura

Román Armando Luna Escalante
Secretario de Salud

Selene Lucía Vázquez Alatorre
Secretaria de Política Social

Alfonso Vargas Romero
Secretario de Pueblos Indígenas

Cristina Portillo Ayala
Secretaria de la Mujer

Zaira Eréndira Mandujano Fernández
Secretaria de los Migrantes

Iris Mendoza Mendoza
Secretaria de los Jóvenes

J. Jesús Montejano Ramírez
Procurador General de Justicia

Erick López Barriga
Coordinación de Planeación para el Desarrollo

Rosa María Gutiérrez Cárdenas
Coordinadora de Contraloría

Jesús Humberto Adame Ortiz
Coordinador General de Comunicación Social



Directorio COECyT

Pedro Mata Vázquez
Director General

Patricia Manríquez Zavala
Subdirectora de Fomento y Planeación

Rubén Salazar Jasso
Subdirector de Vinculación y Desarrollo Tecnológico

Lilia Vázquez Diego
Subdirectora de Difusión

Clotilde Gómez Campos
Delegada Administrativa

Esther García Garibay
Secretaria Técnica del Comité Consultivo

Estimaciones de cambio climático para Michoacán. Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca

Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán
C+Tec. Innovación es solución a mi alcance

Serie 3, cuaderno número 28

Cuahtémoc Sáenz-Romero

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Gerald E. Rehfeldt, Nicholas L. Crookston

Laboratorio de Ciencia Forestal, Estación de Investigación de las Montañas Rocosas,
Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Moscow, Idaho,
USA

Pierre Duval

Centro de Forestería de las Laurentides, Servicio Forestal Canadiense, Recursos
Naturales de Canadá, Quebec, Canadá

Jean Beaulieu

Centro Canadiense de la Fibra de la Madera, Servicio Forestal Canadiense, Recursos
Naturales de Canadá, Quebec, Canadá

ISBN de la serie: 978-607-424-055-9

ISBN del cuaderno:

Primera edición, diciembre de 2009

D.R. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán

Batalla de Casa Mata No.66, Col. Chapultepec Sur

C.P. 58260, Morelia, Michoacán, México

www.coecyt.michoacan.gob.mx

Coordinación general:

Pedro Mata Vázquez

Director General del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología

Cuahtémoc Sáenz-Romero

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Edición:

Lilia Vázquez Diego

Julieta Piña Romero

Diseño editorial, diseño gráfico y formación:

María Bernardette Arroyo Gaona

Mariana López López

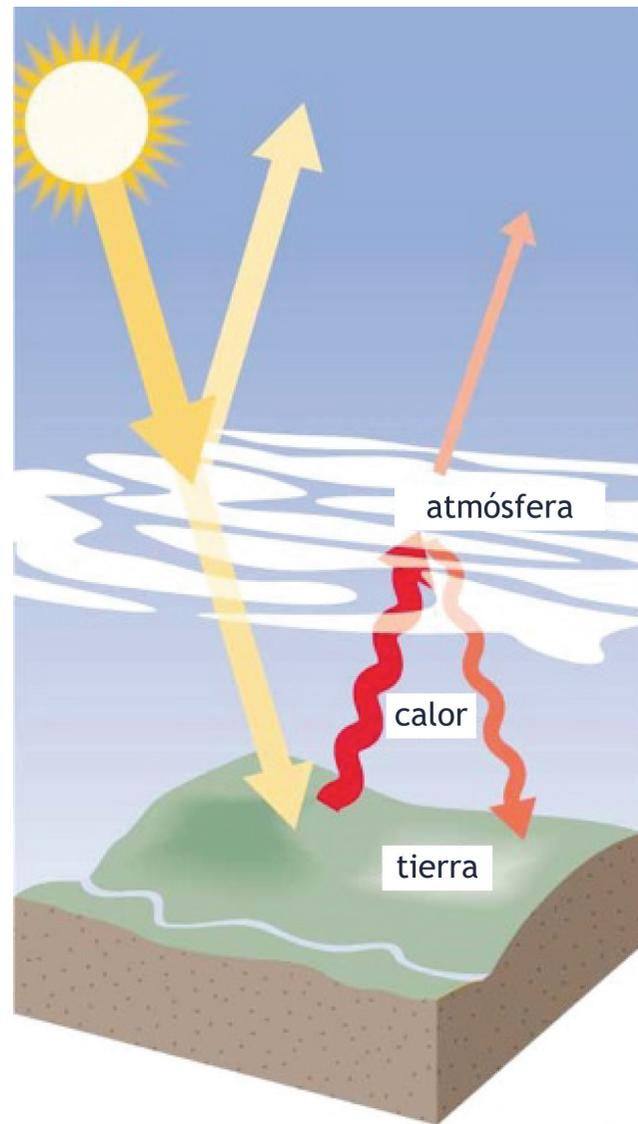
Cindy Carbajal Colín

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión del COECYT. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.



¿Qué es el calentamiento global?

El cambio climático, conocido comúnmente como calentamiento global, es el incremento de la temperatura a nivel mundial y los cambios que de ello derivan, causados por el “efecto invernadero” del bióxido de carbono (CO_2) y otros gases emitidos a la atmósfera. El uso de combustibles fósiles (carbón y derivados del petróleo, como gasolina, diesel, combustóleo y otros) en vehículos de transporte, para generar electricidad y para muchos procesos industriales, han incrementado los niveles de bióxido de carbono en la atmósfera a una concentración arriba de lo normal. El bióxido de carbono tiene la propiedad de permitir, a través de la atmósfera, el paso de la luz y el calor proveniente del sol, pero impide parcialmente la salida del calor fuera de la atmósfera. Es decir, el bióxido de carbono tiene el mismo efecto que los vidrios que recubren un invernadero: el calor entra pero no sale, de ahí la expresión “efecto invernadero” que se usa para referirse al cambio climático global.



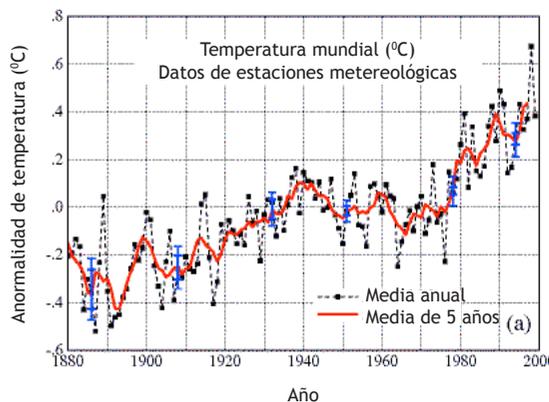
Precision Graphics

¿De qué depende cuánto se incrementa la temperatura?

Investigadores de todo el mundo se han preocupado por medir el calentamiento global ocurrido a la fecha. Se considera que el incremento de temperatura es de aproximadamente 0.8 a 1.0°C, con respecto a registros de hace 50 años. Sin embargo, la tarea más importante y más complicada es predecir en cuánto se incrementará la temperatura en el futuro. Las estimaciones para el futuro dependen de cuánto bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (como el metano, que se produce por la descomposición de materia orgánica) se van a emitir a la atmósfera. La cantidad de combustibles fósiles que se quemarán en el futuro depende, en general, de cuatro factores: (a) crecimiento de las economías de los países económicamente más importantes (Estados Unidos, Japón, Alemania, Inglaterra, China, India), (b) crecimiento de la población mundial, sobre todo de los países con economías importantes y con población grande (China e India, principalmente), (c) velocidad del cambio tecnológico para sustituir los combustibles fósiles por otra fuente de energía (como electricidad producida a partir de la energía

solar, del viento y de las olas del mar), y (d) homogeneidad (convergencia) del cambio tecnológico entre los países, obviamente los países con más inversión en investigación y tecnología van a desarrollar primero fuentes alternativas de energía; la pregunta es cuánto se van a tardar los países menos desarrollados en alcanzar a los desarrollados en ese cambio tecnológico, si es que los alcanzan.

La preocupación por el cambio climático llevó a la creación de un grupo de investigadores de todo el mundo, llamado Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, Intergovernmental Panel for Climatic Change) que dedican parte de su tiempo a usar mediciones de temperatura y precipitación (lluvia) de todo el mundo para crear modelos matemáticos que permitan estimar cuánto ha cambiado el clima y cuánto va a cambiar en el futuro.



Incremento de temperatura (1880 - 2000).
Fuente: Basado en Weart 2008.

¿Qué falta por hacer en México en cuanto a estimaciones de cambio climático?

En México, y en Michoacán particularmente, hacen falta estimaciones de cambio climático a una escala geográfica pequeña y que dichas estimaciones estén disponibles para el público en general, a fin de que los interesados puedan tomar decisiones informadas para enfrentar los posibles efectos negativos del calentamiento global. Por ello, investigadores del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la UMSNH, de la ciudad de Morelia, Michoacán, México, junto con investigadores del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, de la ciudad de Moscow, Idaho, USA

y del Servicio Forestal Canadiense, de la ciudad Quebec, Canadá, nos dimos a la tarea de generar un modelo climático (una serie de fórmulas matemáticas) que nos permitiera tener estimaciones de temperatura y de precipitación, anuales y mensuales, para el presente y para el futuro (años 2030, 2060 y 2090) a una escala de un kilómetro cuadrado e hicimos que esa información esté disponible a todo el público en el sitio de Internet: <http://forest.moscowfsl.wsu.edu/climate/>. En este trabajo presentaremos parte de los resultados que obtuvimos para el Estado de Michoacán.

¿Cómo estimamos el calentamiento global para México y Michoacán?

Para poder hacer la estimación de la temperatura y la precipitación (lluvia) que ocurre en lo que llamamos “clima contemporáneo” (un promedio de 30 años, entre el año 1960 y 1990) analizamos los datos de temperatura y precipitación mensual de 4,000 estaciones climáticas de México, sur de Estados Unidos, Guatemala, Belice y Cuba. Luego, ajustamos cada dato de acuerdo a las predicciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y generamos predicciones climáticas para los años 2030, 2060 y 2090. Para esto

último, usamos datos del Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima, y datos de tres escenarios de emisiones: “pesimista” A2, “optimista” B1, e “intermedio” A1B.

Finalmente, hicimos mapas a escala de un kilómetro cuadrado. Los detalles de cómo hicimos las estimaciones climáticas están en un artículo que ha sido publicado en la revista *Climatic Change* (Sáenz-Romero et al. 2009). En el presente trabajo sólo presentamos resultados para el Estado de Michoacán.

Resultados que obtuvimos

a) Promedios de temperatura y precipitación

Clima contemporáneo de Michoacán (promedio de 1960 a 1990)

Promediando los datos de 149 estaciones climáticas analizadas de Michoacán, estimamos que para el período llamado “contemporáneo”, entre el año 1960 y el año 1990, el promedio anual de temperatura para todo el Estado de Michoacán es de 20.3 °C, y la precipitación anual, es decir, la lluvia que en total cae durante un año en promedio, es de 909 mm. El mes más caliente es mayo (Figura 1a), y los meses más lluviosos son junio, julio, agosto y septiembre (Figura 1b).

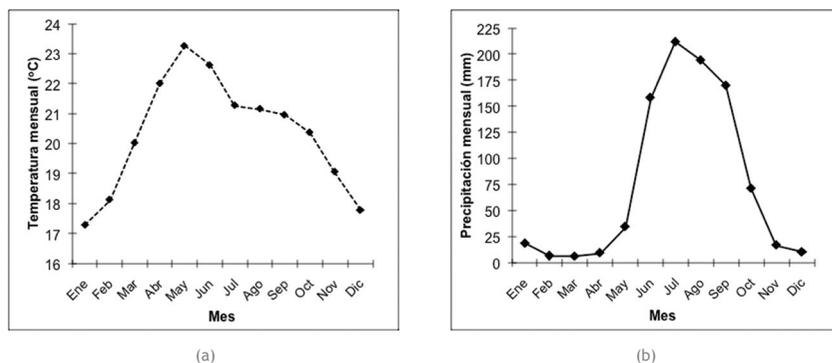


Figura 1. Clima contemporáneo promedio de Michoacán, basado en datos de 30 años (1960-1990) de 149 estaciones climáticas. (a) Promedio mensual de temperatura (grados centígrados, °C), y (b) Promedio mensual de precipitación (milímetros de lluvia, mm).
Fuente: Basado en Sáenz-Romero et al. 2009.

Incremento de temperatura para los años 2030, 2060 y 2090

Promediando los datos del modelo climático para todo el Estado de Michoacán y promediando también las estimaciones entre los

tres escenarios analizados (A2 “pesimista”, B1 “optimista” y A1B “intermedio”), estimamos que para Michoacán la temperatura promedio anual se incrementará (en comparación a la temperatura contemporánea) en 1.4 °C para el año 2030, en 2.2 °C para el año 2060, y en 3.4 °C para el año 2090 (Figura 2).

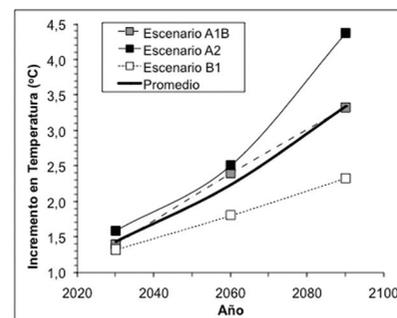


Figura 2. Incremento estimado de temperatura anual promedio para Michoacán para los años 2030, 2060 y 2090, en comparación al clima contemporáneo. Estimaciones a partir del modelo canadiense, para tres escenarios de emisiones (B1 “optimista”, A1B “intermedio” y A2 “pesimista”), y promedio entre los tres escenarios (línea gruesa).
Fuente: Basado en Sáenz-Romero et al. 2009.

Las predicciones por escenario de emisiones varían y la diferencia se hace mayor conforme pasa el tiempo. Para el año 2030, las estimaciones de los tres escenarios de emisiones son muy similares: el escenario pesimista, el A2, estima un incremento de 1.6 °C, mientras que el optimista, B1, predice un incremento de 1.3 °C (Figura 2). Es decir, la diferencia entre las estimación pesimista y la optimista, para el año 2030, es muy pequeña, de sólo 0.3 °C (Figura 2).

Para el año 2060, las diferencias entre los escenarios de emisiones son más grandes: el escenario A2 predice un incremento de 2.5 °C, mientras que el B1 un incremento de 1.8 °C, una diferencia de 0.7 °C, entre ambos (Figura 2).



Para el año 2090, las diferencias entre los escenarios de emisiones son aún más grandes: el escenario A2 predice un incremento de 4.4°C, mientras que el escenario B1 predice un incremento de 2.3 °C, una diferencia de 2.1 °C entre ambos (Figura 2).

Los valores estimados para el escenario A1B, son intermedios entre los escenarios A2 y el B1.

Los aumentos de temperatura son mayores en el escenario de emisiones A2, porque presupone que los países continuarán quemando mucho petróleo y carbón para mantener su crecimiento económico y su nivel de vida. Por el contrario, los incrementos de temperatura estimados para el escenario de emisiones B1 son menores, ya que se supone que en el futuro cercano al menos varios de los países con economías más grandes habrán sustituido el uso de petróleo y carbón por otras fuentes de energía, como energía solar y electricidad producida por generadores impulsados por el viento; además se presupone que se disminuirá notablemente la tasa de crecimiento poblacional.

Disminución de la precipitación para los años 2030, 2060 y 2090

Es común pensar que el calentamiento global es sólo un incremento de temperatura. Desafortunadamente no es así. Es peor, al menos para México. Además del incremento de temperatura se espera una disminución de la lluvia (llamada técnicamente *precipitación*). La

combinación de incremento de temperatura y disminución de la precipitación tendrá como consecuencia un incremento de la aridez.

La disminución de la precipitación que se espera para el futuro es más fácil expresarla como el porcentaje de precipitación respecto a lo que llueve habitualmente; es decir, como porcentaje de cambio respecto a la precipitación contemporánea. Cuando ese porcentaje de cambio es un valor negativo, indica una disminución de la lluvia respecto al clima contemporáneo.

Nuestras estimaciones indican que para el año 2030, promediando entre los tres escenarios de emisiones, habrá un cambio de precipitación del - 8.8 % (es decir, una disminución del 8.8 %), para el año 2060 del -14.3% y para el año 2090 del - 24.9% con respecto al clima contemporáneo (Figura 3).

Las predicciones varían entre escenarios. Para el año 2030, el escenario B1 predice una disminución de sólo -2.2 % de la precipitación, mientras que el escenario A2 predice una cambio de precipitación mucho mayor, de -14.2% (Figura 3). Para el año 2060, la estimación de disminución de la precipitación varía entre el -12.7 % para el escenario B1 y -17.3% para el A2 (Figura 3). Para el año 2090, la estimación de disminución de precipitación varía entre -19.3% para el escenario B1 y -31.9% para el A2. El escenario A1B tiene valores intermedios entre el A1 y el B2 (Figura 3).

¿En qué momento del año ocurriría la disminución de la precipitación? Debido a que hay meses muy secos (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y la primera parte de mayo), la disminución esperada de la precipitación ocurriría en los meses más lluviosos: junio a septiembre (Figura 4).

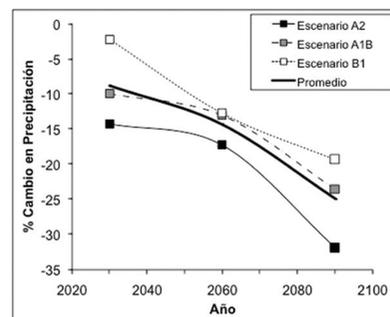


Figura 3. Decremento estimado de la precipitación total anual, expresado como porcentaje de cambio respecto a la precipitación contemporánea; promedio para Michoacán para los años 2030, 2060 y 2090. Estimaciones a partir del modelo canadiense, para tres escenarios de emisiones (B1 “optimista”, A1B “intermedio” y A2 “pesimista”), y promedio entre los tres escenarios (línea gruesa). Fuente: Basado en Sáenz-Romero et al. 2009.

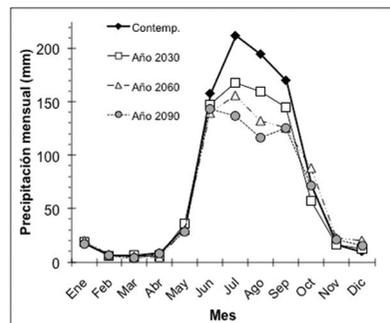


Figura 4. Precipitación promedio mensual, contemporánea y para los años 2030, 2060 y 2090, promedio para Michoacán. Estimaciones a partir del modelo canadiense, escenario de emisiones A2. Fuente: Basado en Sáenz-Romero et al. 2009.

b) Mapas climáticos

Para ilustrar la variabilidad de temperatura y precipitación que existe en Michoacán se hicieron mapas para el escenario A2, para los años 2030, 2060 y 2090, a una escala de un kilómetro cuadrado (Figuras 5 y 6).

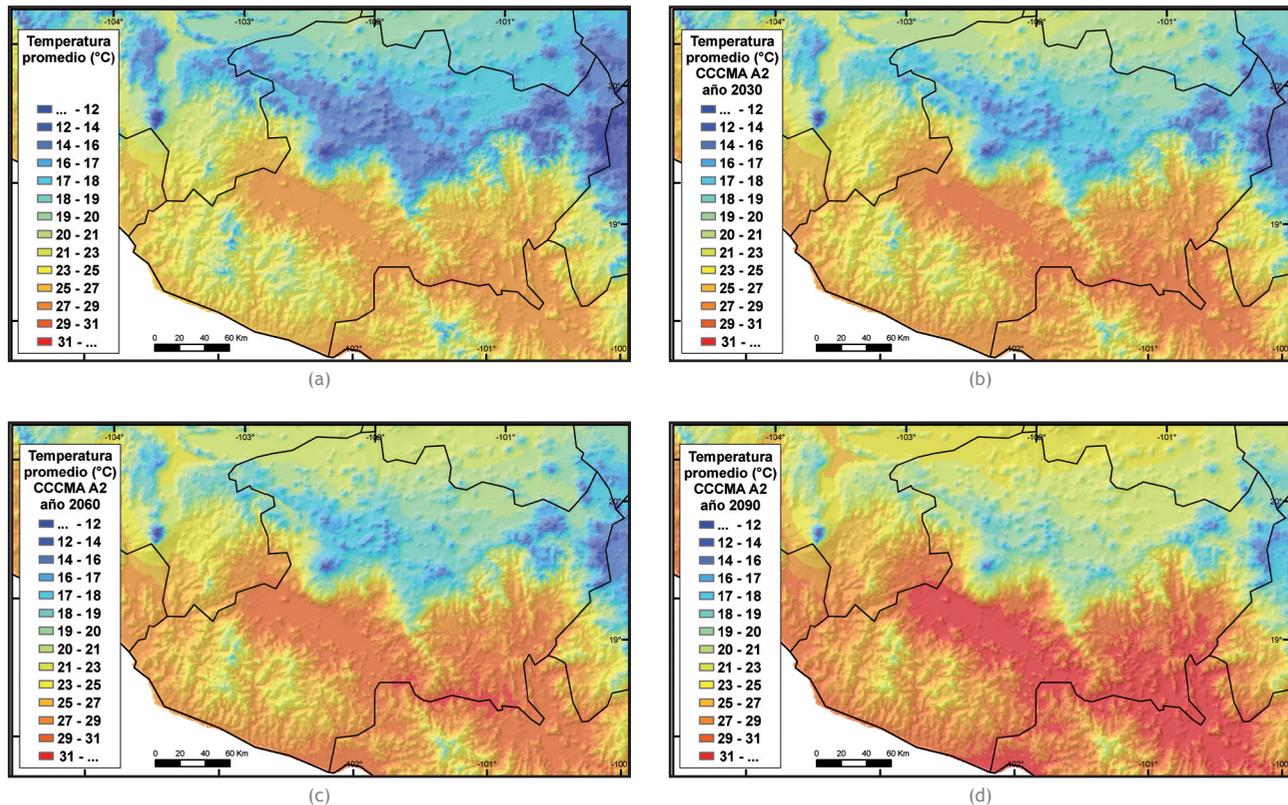


Figura 5. Mapa de Michoacán de predicciones de temperatura media anual (°C) para: (a) clima contemporáneo (promedio 1960-1990), (b) año 2030, (c) año 2060, y (d) año 2090. Predicciones basadas en datos del Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (CCCMA), escenario de emisiones A2. Fuente: Basado en Sáenz-Romero et al. 2009.

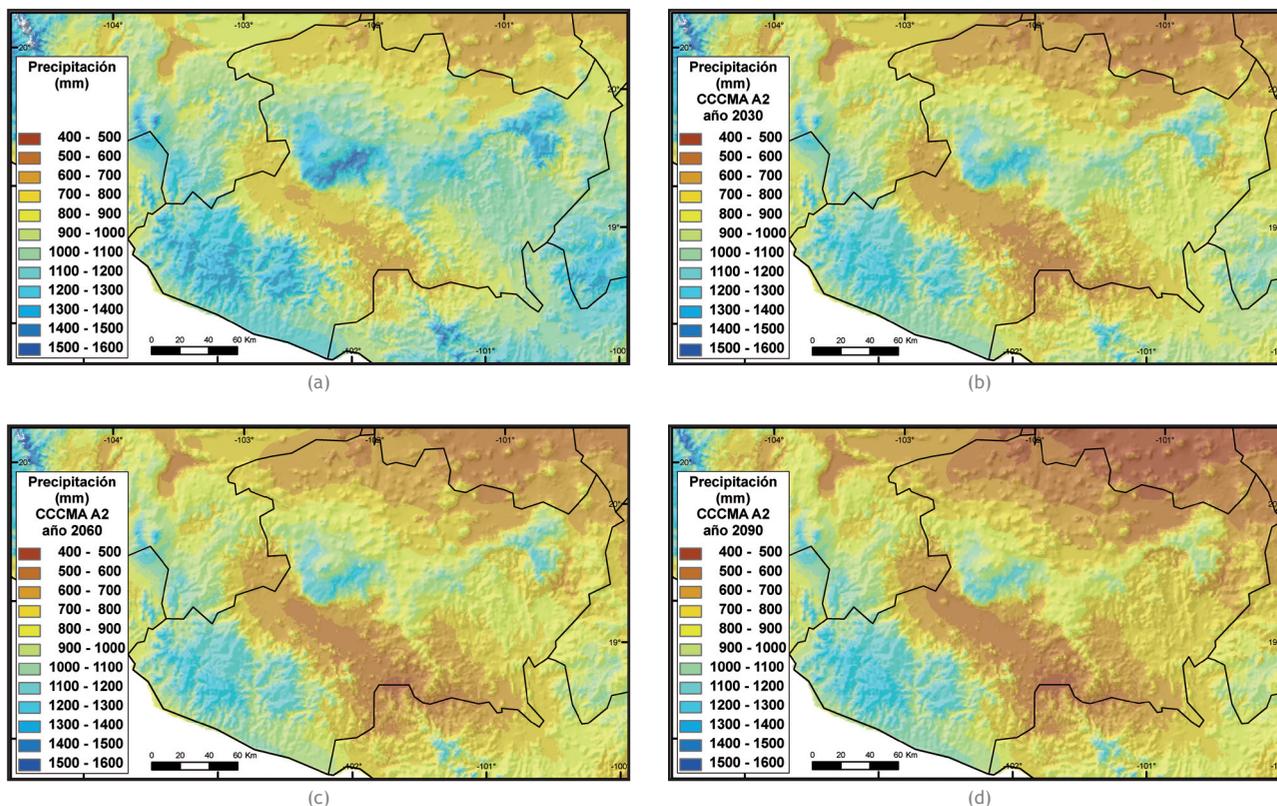


Figura 6. Mapa de Michoacán de predicciones de precipitación anual (mm de lluvia) para: (a) clima contemporáneo (promedio 1960-1990), (b) año 2030, (c) año 2060, y (d) año 2090. Predicciones basadas en datos del Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (CCCMA), escenario de emisiones A2. Fuente: Basado en Sáenz-Romero et al. 2009.

Incremento de la temperatura

Para el clima contemporáneo, las temperaturas están asociadas a la altitud y a la cercanía a la costa. Las regiones más frías (menos de 14 °C de promedio anual; azul intenso en la Figura 5a) están concentradas en un eje este-oeste a lo largo del Eje Neovolcánico, y en algunas partes altas de montaña a lo largo de la Sierra

Madre del Sur. Los sitios más fríos son el Pico de Tancítaro (círculo azul intenso en el centro-oeste de Michoacán) y en la región noreste del estado, en la frontera con el Estado de México, lugar en el que se encuentran bosques de oyamel (*Abies religiosa*) y la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. En contraste, existen en

el estado áreas muy cálidas, con un promedio anual de más de 25 °C, a lo largo de la Depresión del Balsas (Figura 5a, colores naranja).

Los mapas de temperatura del clima futuro (años 2030, 2060 y 2090), bajo el escenario de emisiones A2, indican una desaparición gradual de las temperaturas anuales promedio de menos de 14 °C en las montañas (disminución de colores azul intenso en las Figuras 5b, 5c y 5d). Por otra parte, las temperaturas promedio anuales se incrementan notablemente en la Depresión del Balsas, con temperaturas promedio anuales que sobrepasan los 31 °C (expansión de los colores rojo intenso en las Figuras 5b, 5c y 5d).

Decremento de la precipitación

La precipitación promedio anual para el clima contemporáneo en Michoacán es muy variable, dependiendo de la región. En la Depresión del Balsas es muy baja, de 600 a 800 mm de lluvia

anuales (color café claro en la Figura 6a). En contraste, en las montañas y volcanes del Eje Neovolcánico y las partes altas de la Sierra Madre del Sur, hay regiones con precipitaciones dos o casi tres veces más abundantes, entre 1400 y 1600 mm de lluvia anual (color azul intenso, en Figura 6a).

Nuestras estimaciones de cambio climático indican una disminución progresiva de las áreas con 1400 mm de lluvia o más para los años 2030, 2060 y 2090 (disminución de colores azul intenso en las Figuras 6b, 6c y 6d). En contraste, hay una expansión de las áreas áridas, incrementándose las regiones con precipitación de menos de 600 mm de lluvia en la región de la Depresión del Balsas (expansión de colores café medio e intenso en las Figuras 6b, 6c y 6d).

Mapas adicionales es posible verlos en el sitio web <http://forest.moscowfsl.wsu.edu/climate/>.





c) Consecuencias para la producción agropecuaria y forestal, y en la vegetación y fauna silvestre. Migración asistida, una alternativa

Es de esperarse que la combinación de incremento de la temperatura y disminución de las lluvias, hará de Michoacán un estado más árido de lo que es actualmente. Eso necesariamente tendrá impactos muy negativos en la producción agropecuaria y forestal del estado, además de tener también un impacto negativo en la flora y fauna silvestre.

Efectos negativos en el sector agropecuario

Es de esperarse que la producción de maíz y la productividad de forrajes para el ganado disminuyan su rendimiento por hectárea, y sea necesario cambiar de cultivo o de variedad a otros cultivos y variedades que sean más resistentes a una mayor temperatura y menor cantidad de lluvia. No debemos hacernos ilusiones: aún cambiando a variedades o a otros cultivos más resistentes a las nuevas condiciones climáticas, habrá una disminución de la producción en el campo. Esto se debe a que las variedades resistentes a sequía usualmente son menos productivas que las variedades no resistentes a sequía.

De manera global, se ha estimado que la producción agrícola en México disminuirá entre un 5 % y un 30 % para el año 2080, debido al calentamiento global (Parry et al., 2004).

Efectos en el sector forestal

Es de esperar que las especies forestales gradualmente estén más y más estresadas por el incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación, lo que disminuirá la producción de madera. Es muy probable que el calentamiento global haga que los árboles sean más susceptibles al ataque de plagas

y enfermedades, debido al debilitamiento provocado por el estrés, y eventualmente mueran. Esto ya está sucediendo en algunas partes del mundo y se llama “declinación repentina” de árboles. La muerte típicamente se produce por ataques de insectos y microorganismos, que habitualmente se encuentran presentes en los ecosistemas y que ocasionalmente matan algunos árboles, pero no de manera masiva. Sin embargo, empieza a haber evidencias de que esas mortalidades en pequeña escala se están convirtiendo en mortalidades masivas (Breshears, et al. 2005; Rehfeldt, et al. 2009).

Para evitar lo anterior, sería necesario reorientar los actuales programas de reforestación, de manera que se colecte semilla de los árboles de un lugar determinado, se produzca planta en vivero, y se reforeste un sitio diferente a donde se colectó la semilla. ¿Qué sitio? Un sitio

en donde ocurra en el futuro cercano el clima para el cual esa especie de árbol está adaptada. Esto es lo que se llama “migración asistida”. Es decir, ayudar a las especies a migrar al sitio en donde ocurrirá el clima para el cual están adaptadas.



Migración asistida: una alternativa

¿Acaso las especies forestales no pueden migrar por sí solas?

Los pájaros, muchos insectos y fauna silvestre pueden desplazarse fácilmente y migrar naturalmente a los sitios en donde ocurrirá el clima para el que están adaptados, pero los árboles no pueden hacer lo mismo. El único mecanismo natural de migración de los árboles es dispersar semillas que lleguen a los sitios en donde ocurrirá el clima para el que están

adaptados y establecer ahí nuevos individuos. Sin embargo, ese proceso de dispersar semilla, germinar y crecer una nueva planta, alcanzar una edad en la que pueden reproducirse y volver a dispersar semilla, etc., es un proceso demasiado lento y está demostrado que el calentamiento global es un proceso demasiado rápido. Por ello, es necesario ayudar (asistir) a las poblaciones de especies forestales a cambiarse de lugar, mediante programas

masivos de reforestación, orientados a re-acoplar los individuos, las poblaciones y las especies a los ambientes para los que están adaptados.

¿A dónde deben migrar las especies?

Es común la suposición de que el calentamiento global obligará a las especies a migrar hacia mayores latitudes (es decir, hacia el norte) y/o migrar a mayores elevaciones en las montañas. De hecho, muchas especies de pájaros del mundo están anidando en lugares más al norte de lo acostumbrado, o bien llegan a los sitios de anidación antes de las fechas habituales (ya que el calor de la primavera o el verano está iniciando antes).

En el caso particular de Michoacán, la migración al norte, en gran medida, no es una opción, ya que el norte del estado, en su frontera con el Estado de Guanajuato, es más seco (ver temperaturas en Figura 5). Por tanto, las opciones de migración serían complicadas. En general, se podría decir que la migración tendría que realizarse hacia mayores altitudes, sea hacia la parte alta de las montañas de la Sierra Madre del Sur, o en las partes altas del Eje Neovolcánico.

¿Cuándo migrar a las especies y poblaciones?

La migración asistida no debe hacerse con demasiada anticipación. Por ejemplo, si se movieran las especies y poblaciones el día de hoy a sitios en donde ocurrirá el clima para el que están adaptadas en el año 2090, esos lugares en la actualidad serían demasiado fríos y las plantas recién plantadas en los sitios de reforestación podrían sufrir daños por heladas y morir.

No realizar una migración asistida sería condenar a las especies y poblaciones a un estrés gradual por el incremento de temperatura y disminución de la precipitación, lo que en el futuro podría causar su muerte, o el suficiente estrés como para que no produzcan semilla y no podamos reubicar a esas especies



y poblaciones en el futuro. Es decir, al no haber semilla en el futuro, las opciones para realizar programas masivos de reforestación en la modalidad de migración asistida, estarían muy limitadas.

¿Cuánto migrar a las especies y poblaciones?

Nuestras estimaciones indican que realizar en la actualidad

una migración a sitios ubicados a 300 ó 400 m de mayor altitud, en muchos casos sería suficiente para que los individuos estuvieran adaptados al clima que ocurrirá en esos lugares en el año 2030 (estimaciones basadas en el escenario de emisiones A2). Arbolitos plantados en

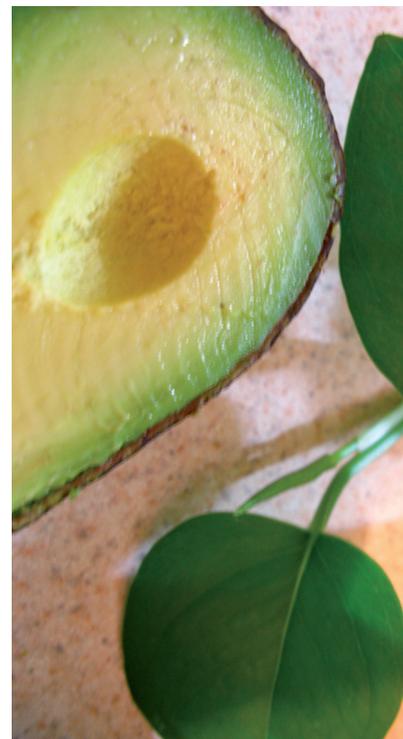
el presente (por ejemplo, en la próxima temporada de lluvias del año 2010) tendrían 20 años de edad en el año 2030 y con suerte y estarán en buen estado de salud y podríamos coleccionar de ellos nuevamente semilla, y en ese momento decidir hacia dónde realizar una nueva migración. Esto último dependiendo de cuál escenario de emisiones se haría realidad en el futuro (el A2, el A1B, ó el B2). Esta migración asistida a mayores altitudes seguramente tendrá sus riesgos, como cierto daño por heladas; sin embargo, los daños por heladas se harán menos frecuentes y menos graves con el paso del tiempo.

Implicaciones para la producción de aguacate en Michoacán

Michoacán es el principal estado productor de aguacate del país, y México es el primer productor mundial de aguacate. Es de esperarse que el calentamiento global afectará la producción de aguacate, al hacer más cálidos y más secos los sitios en donde crece actualmente ese cultivo.

Una alternativa, igual que para las especies forestales, sería “migrar” gradualmente las huertas de aguacate hacia sitios en donde el clima actualmente es más frío y húmedo (lo cual en general sucede a mayores altitudes), ya que en algunos años esos sitios serán más cálidos y más secos de lo que son ahora. Esta “migración” consistiría en aplicar una regla simple: si se va a establecer una nueva huerta, hacerlo en sitios más altos, y de ninguna manera hacerlo en sitios de baja altitud, secos y muy cálidos (lo que actualmente es el límite altitudinal inferior de la distribución de las huertas de aguacate).

Desde luego estas decisiones son muy difíciles y no se cuenta, por el momento, con la información exacta de cuándo y cuánto habría que “migrar” las huertas y hacia dónde. Probablemente sea recomendable mover altitudinalmente hacia arriba las



huertas entre 150 y 200 m de altitud (la mitad de lo recomendado para especies forestales), ya que la vida media de las huertas de aguacate es más corta que la de especies de pinos, y por tanto podrían volverse a mover antes que los pinos. Estas decisiones tendrán sus riesgos, pero tampoco se puede continuar ignorando los efectos del calentamiento global.

Implicaciones para la Mariposa Monarca

La hibernación en Michoacán de la mariposa monarca en la Reserva de la Biosfera en el noreste del estado, es uno de los fenómenos más increíbles de la naturaleza, y un gran orgullo para el estado.

Desafortunadamente, es de esperarse que los árboles de oyamel (*Abies religiosa*), que son en los que se posan las mariposas monarcas, gradualmente estarán más y más estresados por el calentamiento global. No se puede descartar que en el futuro mueran por el estrés de calor y falta de agua. Ello obliga a preguntarse si sería posible sustituir gradualmente los bosques de oyamel por otra especie más resistente al calor y a la menor humedad, y si la mariposa monarca “aceptaría” posarse e hibernar en esa otra especie. Otra alternativa sería plantar árboles de oyamel en sitios en donde para el año 2030 ocurrirá el clima para el que están actualmente adaptados. Aquí el problema es que eso ocurrirá en sitios a mayor altitud y muchas de los santuarios actuales ya están en la cumbre o cerca de la cumbre de varias montañas. Entonces cabe preguntarse cuál es la viabilidad de plantar oyamel en otros sitios, por ejemplo, en la parte alta de Pico de Tancítaro, y si la mariposa monarca sería capaz de adaptarse a otros sitios que funcionen como santuarios. Por ahora no tenemos respuesta.



Acceso al público de las estimaciones de calentamiento global

Los datos del modelo climático que hemos descrito en el presente trabajo están disponibles en la web en el sitio: <http://forest.moscowfl.wsu.edu/climate/>, en forma de mapas y en forma de algo parecido a un banco de datos. El banco de datos se puede consultar en el sitio web, en la sección de “datos requeridos por el usuario” (“custom climate data request”, el sitio está en inglés) a través de “interrogar” al modelo, suministrando coordenadas (latitud y longitud, en sistema decimal) y altitud en metros sobre el nivel del mar, de cualquier sitio

del territorio nacional, y el sitio web regresa vía correo electrónico estimaciones climáticas para el clima contemporáneo y para los años 2030, 2060 y 2090. El usuario puede elegir el modelo climático (en el presente trabajo se usó el canadiense, pero tenemos otros dos modelos, uno llamado Hadley y otro de Física de Fluidos), el escenario de emisiones (A2, B1, B2 y A1B), el año (período contemporáneo, 2030, 2060 y 2090), y si se desean los datos mensuales o anuales. En el sitio web están descritas las instrucciones para pedir los datos.

Conclusiones

El calentamiento global causará en el Estado de Michoacán un incremento promedio de la temperatura de 1.4 °C para el año 2030, de 2.2 °C para el año 2060 y de 3.4 °C para el año 2090, si se promedian los resultados de tres escenarios de emisiones (“optimista” B2, intermedio A1B y “pesimista” A2). También habrá una disminución promedio de la precipitación del 8.8 % para el año 2030, de 14.3 % para el año 2060 y de 24.9 % para el año 2090. Es previsible que tales cambios ocasionen una disminución de la producción de cultivos agrícolas, de forrajes,

de producción frutícola como el aguacate y se pongan en peligro a los santuarios de la mariposa monarca. Una alternativa sería seleccionar nuevas variedades de cultivos, más resistentes a las temperaturas más elevadas y a la menor cantidad de lluvia. También se recomienda “migrar” altitudinalmente hacia arriba especies de plantas, particularmente especies forestales, probablemente a una altitud entre 300 y 400 m de altitud más arriba de su distribución actual, para reacoplar las poblaciones y las especies al clima que ocurrirá en el año 2030.

Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo mientras el primer autor estuvo de año sabático en el Centro Canadiense para la Fibra de la Madera, del Servicio Forestal Canadiense, Recursos Naturales de Canadá (NRC), en la ciudad de Québec, Canadá. Se agradece el financiamiento del ministerio de Recursos Naturales de

Canadá, del Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT, beca de sabático 75831), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y de la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH. Se agradece a Rémi St. Amant (NRC) su ayuda en la extracción de datos.

Bibliografía

- Breshears DD, Cobb NS, inch PM, Price KP, Allen CD, Balice RG, Romme WH, Kastens JH, Floyd ML, Belnap J, Anderson JJ, Myers OB, Meyer CW (2005). Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of National Academy of Sciences (PNAS)* 12(42):15144-15148.
- Parry ML, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, Fisher G (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14:53-67.
- Sáenz-Romero C, Rehfeldt GE, Crookston NL, Duval P, St-Amant R, Beaulieu J, Richardson BA (2009). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. Manuscrito aceptado en *Climatic Change* (en prensa). DOI:10.1007/S10584-009-9753-5.
- Rehfeldt GE, Ferguson DE, Crookston NL (2009). Aspen, climate, and sudden decline in western USA. *Forest Ecology and Management* 258:2353-2364.
- Weart, SR (2008). *The discovery of Global Warming*. Second Edition, Harvard University Press. <http://www.aip.org/history/climate/co2.htm>

Editado por el Consejo Estatal de Ciencia
y Tecnología de Michoacán

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de
2009, en los Talleres Gráficos de Fondo Editorial
Morevallado, S.R.L. de C.V., ubicados en la calle
de Tlalpujahu No. 445, Col. Felicitas del Río, Tel.
327-68-81, Morelia, Michoacán

La edición estuvo al cuidado de la Subdirección de
Difusión del COECyT, en su composición se utilizó
tipografía Trebuchet MS y se imprimió en papel
bond de 90 grs.

El tiraje constó de 500 ejemplares