

Riesgo económico-agrícola y escenarios de cambio climático (2025-2075) en una región del trópico seco mexicano

Economic-agricultural risk and climate change scenarios (2025-2075) in a region of the dry mexican tropics

Carlos Francisco Ortiz Paniagua^{} y Alba María Ortega Gómez^{**}*

Resumen

De acuerdo con los escenarios de cambio climático global, la región de la Tierra Caliente en Michoacán, es una de las más vulnerables a este evento. A escala local y regional no se cuenta con la información al respecto, ni se conoce el grado de vulnerabilidad regional, ni el riesgo de la economía municipal vinculada con el sector agrícola. El presente estudio tuvo como objetivo diseñar una metodología que permitiera cuantificar el riesgo económico-agrícola regional. Para ello se concibió el riesgo como el producto de la vulnerabilidad y la amenaza. Para la primera variable se diseñó un índice de vulnerabilidad económico-agrícola que emplea 21 indicadores (IVEA). En tanto, se concibió el cambio climático regional como la amenaza, lo que se verificó mediante el análisis de temperatura y de precipitación bajo escenarios de cambio climático; para ello se analizaron 20 estaciones climatológicas. Los resultados muestran el riesgo económico agrícola para los municipios al interior de la región y que ésta experimentará incrementos en la temperatura máxima de 0.4 °C a 3.1 °C y en las temperaturas mínimas y 0.4 °C a 2.4 °C. Por su parte, la precipitación ya muestra indicios de una reducción en los períodos revisados, por lo que se espera una tendencia a la reducción de entre 10% y 20%, lo que verifica la señal del cambio climático en la región.

Palabras clave: escenarios de cambio climático; vulnerabilidad productores agrícolas; región Tierra Caliente, Michoacán, México; LARS-WG

* Doctorado en Ciencias del Desarrollo Regional por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Profesor-investigador en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Líneas de interés: economía regional, desarrollo regional sustentable, competitividad y desarrollo local. Correo electrónico: cfortiz@umich.mx

** Doctorado en Ciencias del Desarrollo Regional por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Posdoctorante en el Centro de Investigación en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, México. Líneas de interés: análisis territorial y desarrollo regional sustentable en socio-ecosistemas vulnerables; desarrollo de capacidades de adaptación al cambio climático y sistemas complejos; riesgos agrícolas por efecto de la variabilidad y cambio climático. Correo electrónico: albaortegag@gmail.com

Abstract

According global climate change scenarios, Tierra Caliente in Michoacán is one of the most vulnerable regions to this event. At the local and regional level, there is no information on the degree of regional vulnerability or the risk of the municipal economy linked to the agricultural sector. The aim of this study was to design a methodology to quantify the regional economic-agricultural risk. Risk was conceived as the result of vulnerability and threat. For the first variable an economic-agricultural vulnerability index was designed using 21 indicators. Conversely, regional climate change was conceived as the threat, verified through temperature and precipitation analysis under climate change scenarios, for which 20 climatological stations were analyzed. The results show the agricultural economic risk for the municipalities within the region and the fact the region will experience increases in maximum temperatures of 0.4 °C to 3.1 °C and reductions in minimum temperatures from 0.4 °C to 2.4 °C. On the other hand, since precipitation already shows signs of a reduction in the periods reviewed, a reduction trend of between 10% and 20% is expected, thereby proving the sign of climate change in the region.

Keywords: climate change scenarios; agricultural produce vulnerability; Tierra Caliente region, Michoacán, Mexico; LARS-WG;

Introducción

Uno de los efectos más graves del cambio climático es la alteración de los sistemas agrícolas (Mendelsohn, Dinar y Williams, 2006) dado que de ellos depende para subsistir 47% de la población del mundo (World Bank, 2017). De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), la producción mundial de alimentos que depende de sistemas de riego representa 18% de las tierras agrícolas mundiales, y produce cerca de la mitad del suministro mundial de cereales (FAO, 2010; Beddington *et al.*, 2011). Por otra parte, más de 80% de las tierras agrícolas del mundo dependen, entre otros factores, de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda por evaporación, absorción del cultivo y distribución de humedad del suelo (Bates, 2008).

La agricultura, como actividad que depende del clima, es altamente susceptible al cambio climático (Gay y Conde, 2013). Sin embargo, al momento no existe consenso generalizado sobre la magnitud de los impactos potenciales del mismo, debido a las diferencias tanto en las metodologías, como en la medición empírica (Fisher *et al.*, 2009). En lo que sí hay coincidencia es en que los

países en desarrollo son los más vulnerables; “paradógicamente, los países que menos han contribuido a la emisión de los GEI y las personas que consumen menos energía generada con combustibles fósiles, serán los más afectados por las consecuencias del Cambio Climático” (Centro Mario Molina, 2012: 83).

De tal suerte que los países en desarrollo presentan una fuerte dependencia entre agricultura y ecosistemas, un acelerado crecimiento de la población, millones de personas en asentamientos humanos en zonas de riesgo y bajos niveles de salud (Stern, 2009). El desafío aún vigente, a escala mundial, consiste en diseñar e implementar estrategias de prevención y adaptación que permitan reducir las pérdidas económicas —productivas, de patrimonio y externalidades— ocasionadas por los efectos del cambio climático (Mercado y Lorenzana, 2000).

Entre los intentos para dar respuestas a los efectos del cambio climático, el Panel Inter-gubernamental de Cambio Climático (IPCC, por su acrónimo en inglés) ha diseñado escenarios climáticos en función de emisiones de GEI. En dicho estudio se muestran las regiones con mayores probabilidades de tener alteraciones climáticas como: disminución de la precipitación y aumento de la temperatura (IPCC, 2007a; IPCC, 2014). En el trópico seco mexicano, la Tierra Caliente, en los estados de Michoacán y Guerrero, aparece como la región con mayores alteraciones climatológicas según el IPCC (2007a). Durante el período de 2003 a 2015, la agricultura regional ha experimentando una pérdida por siniestralidad equivalente a 21% del valor de la producción, como producto de sequías y lluvias intensas principalmente (SIAP-Sagarpa, 2017; Cenapred, 2015).

Por lo que el eje de investigación del presente es: ¿Cómo cuantificar el riesgo económico-agrícola regional? Bajo la hipótesis de que la señal del cambio climático global se presenta en la región Tierra Caliente de Michoacán, contribuyendo al aumento del riesgo económico-agrícola. Mediante la cuantificación de éste, se pueden identificar los municipios que podrían ser más impactados negativamente, a la vez que se pueden conocer aspectos municipales para reducir la vulnerabilidad.

De manera que el objetivo es diseñar una metodología que permita cuantificar el riesgo económico-agrícola regional, ante los efectos del cambio climático, tomando como base el escenario A1B regionalizado, en la perspectiva del IPCC, (2007a y 2014). En esa perspectiva surgen tres objetivos particulares: 1) regionalizar el escenario de cambio climático A1B; 2) cuantificar el grado de vulnerabilidad económico/agrícola municipal/regional y; 3) cuantificar el riesgo municipal.

Los aportes del presente artículo serían: 1) regionalizar escenarios del IPCC; 2) conocer la dependencia económica de la agricultura en la región y sus probables impactos; 3) un diseño metodológico para el estudio del riesgo económico agrícola, que combina aspectos económicos y meteorológicos; y 4) que la información generada proporciona elementos para la planeación y el

diseño de estrategias que apoyen a reducir la vulnerabilidad, mejorar la adaptación y/o reducir los costos económico-sociales de los potenciales efectos del cambio climático en la agricultura y la economía regionales.

Para alcanzar este propósito, el artículo se integra de seis secciones. La primera describe la región de estudio, en tanto que la segunda presenta el planteamiento teórico y los fundamentos de los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC. La tercera parte aborda una revisión de los trabajos que han tratado la agricultura y su relación con el cambio climático. La cuarta sección describe las técnicas empleadas para alcanzar el objetivo y el quinto apartado expone los resultados y una discusión de los mismos en cuanto a sus alcances y limitantes. Por último, se muestran las conclusiones y recomendaciones a partir de la información generada.

Región Tierra Caliente de Michoacán

Se tomó como base la regionalización oficial¹ en el trópico seco mexicano; ahí se sitúa la región Tierra Caliente de Michoacán, al sureste del estado y se integra de siete municipios: Carácuaro, Huetamo, Madero, Nocupéitaro, San Lucas, Tacámbaro y Turicato. La superficie de la región es de 7,341.3 km² y representa 12.5% de Michoacán (Figura 1). La región presenta una orografía accidentada, tiene valles y llanos que le permiten contar con suelos aptos para actividades agropecuarias. La altitud oscila entre los 2 900 m s. n. m., en Madero y los 200 m s. n. m. en Huetamo. El uso de suelo en la región es predominantemente agrícola (20.1% de la superficie), seguido de la superficie de selva (15.6%), pastizal (15.1%) y bosque de pino, encino y mixto (13.2%).

La superficie destinada a la agricultura en la región fue de 147 mil hectáreas, 18.3% cuenta con riego, 45% están fertilizadas, 29% aplica semilla mejorada, 14% recibe asistencia técnica y 32% cuenta con mecanización (INEGI, 2007). Los cultivos principales según municipio, son: Madero produce aguacate, maíz y agave, en tanto que Tacámbaro presenta la mayor diversidad de cultivos, destacando el aguacate por su valor comercial. Turicato produce predominantemente caña de azúcar y aguacate, en tanto que Huetamo produce sorgo forrajero verde, melón y maíz. San Lucas produce mango, melón, sorgo de grano y maíz, principalmente. Por último, Carácuaro y Nocupéitaro producen maíz, sorgo de grano y pastos utilizados principalmente para alimentar ganado.

¹ La regionalización consideró los siguientes criterios: a) municipio como unidad territorial; b) conformación de regiones con municipios contiguos; c) cuencas hidrográficas; manchas urbanas y carreteras como expresión de la funcionalidad espacial socioeconómica y d) conocimiento local como elemento para discernir casos especiales (Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo, 2004).

Figura 1. Ubicación geográfica de la región Tierra Caliente y regionalización de Michoacán



Fuente: elaboración propia.

La estructura productiva de la región tiene un vínculo estrecho con el sector primario, este aspecto es relevante para el estudio, como se aprecia en la Tabla 1, en algunos casos, la agricultura representa la tercera parte de la economía municipal. La población regional en 2010, ascendió a 196.7 miles de habitantes (INEGI, 2010), Tacámbaro fue el municipio más poblado de la región con 30% del total de la población, mientras que Carácuaro y Nocupéitaro son los municipios menos poblados con 4% cada uno. Para 2015 la región había superado ligeramente los 202 mil habitantes (INEGI, 2015), con una tasa de crecimiento inferior a la estatal.

Tabla 1. Estructura del PIB municipal en la región Tierra Caliente, 2012

	Carácuaro	Huetamo	Madero	Nocupéitaro	San Lucas	Turicato	Tacámbaro
Agricultura	31.9%	14.8%	15.7%	16.6%	15.8%	32.4%	35.6%
Ganadería	36.3%	14.9%	9.9%	48.4%	11.5%	20.8%	1.2%
Pesca	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%
Forestal	0.0%	0.0%	17.4%	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%
Minería	0.0%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%
Industria	6.5%	6.8%	10.7%	5.0%	6.3%	13.8%	10.6%
Comercio	18.8%	44.4%	35.1%	24.1%	54.4%	23.1%	41.1%
Servicio	6.5%	15.2%	11.3%	6.0%	11.9%	9.7%	9.6%
PIB/hab. 2012 (Precios a mayo de 2017)	\$26 365	\$52 987	\$28 382	\$21 118	\$41 420	\$18 426	\$56 922

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2015.

Elementos teóricos: cambio climático, escenarios y vulnerabilidad agrícola

Bases sobre el cambio climático

Desde la perspectiva de la ONU (1992), el cambio climático es entendido como “el cambio de clima que es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (ONU, 1992: 3). Bajo este concepto se mantiene el “acuerdo” de que el cambio climático se atribuye a las actividades humanas. La implicación directa de esta convención fue la generación de acuerdos para que los países participantes apliquen medidas de política que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las bases científicas que sustentan este enfoque argumentan que los gases naturales en la atmósfera ayudan a retener calor² y sumados a los gases promovidos por actividades antropogénicas incrementan la retención de calor³ emitido por la superficie terrestre, manteniendo y regulando la temperatura en la Tierra (Ponce, 2012). La presencia de dichos gases de efecto invernadero en la atmósfera no necesariamente es el único factor para la temperatura. La variabilidad climática ha sido una constante en el planeta, y algunos de los elementos que contribuyen al cambio del clima son: radiación solar, erupciones volcánicas, variaciones en la vegetación, tormentas solares, corrientes oceánicas, variaciones orbitales, entre otros (Montoya, 2009).

Escenarios de cambio climático

Los escenarios son un instrumento de la planeación prospectiva sobre lo que puede ser un futuro posible, probable o idealizado (Miklos y Tello, 2010). Los escenarios climáticos, partiendo de supuestos, simulan opciones de futuro posibles que toman su base en información disponible, basada a su vez en modelos. Se trata de imágenes de rumbos posibles hacia los cuales se dirige el clima futuro en relación a las variables que tendrían incidencia en su comportamiento. Los escenarios que propone el IPCC, se fundamentan en la cantidad de emisiones de GEI (IPCC, 2007).

Como antecedente en 1990 y 1992, el IPCC desarrolló escenarios de emisiones a largo plazo (IS92); luego de evaluarlos en 1995 se incorporaron cambios en variables y fueron sustituidos por SRES —Special Reduction Emissions Scenarios— (IPCC, 2000). Se plantearon alternativas de desarrollo socioeconómico global, denominadas A1, A2, B1 y B2, que describen consistentemente las relaciones entre las principales fuerzas demográficas, económicas y tecnológicas que determinan las emisiones futuras de los GEI y por tanto su incidencia en la temperatura global (IPCC, 2007a). La Figura 1 ilustra los puntos de convergencia y divergencia, la familia de escenarios A1; describe un crecimiento económico acelerado, con una población mundial que llega a su máximo a mediados del siglo XXI y declina después, a la vez que mantiene una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se integra en tres grupos con direcciones alternativas en cambio tecnológico y sistema de energía: 1) uso intensivo de combustibles fósiles (A1FI); 2) fuentes de energía no fósiles (A1T); y 3) un balance entre todas las fuentes de energía (A1B) (IPCC, 2007a) (Figura 1).

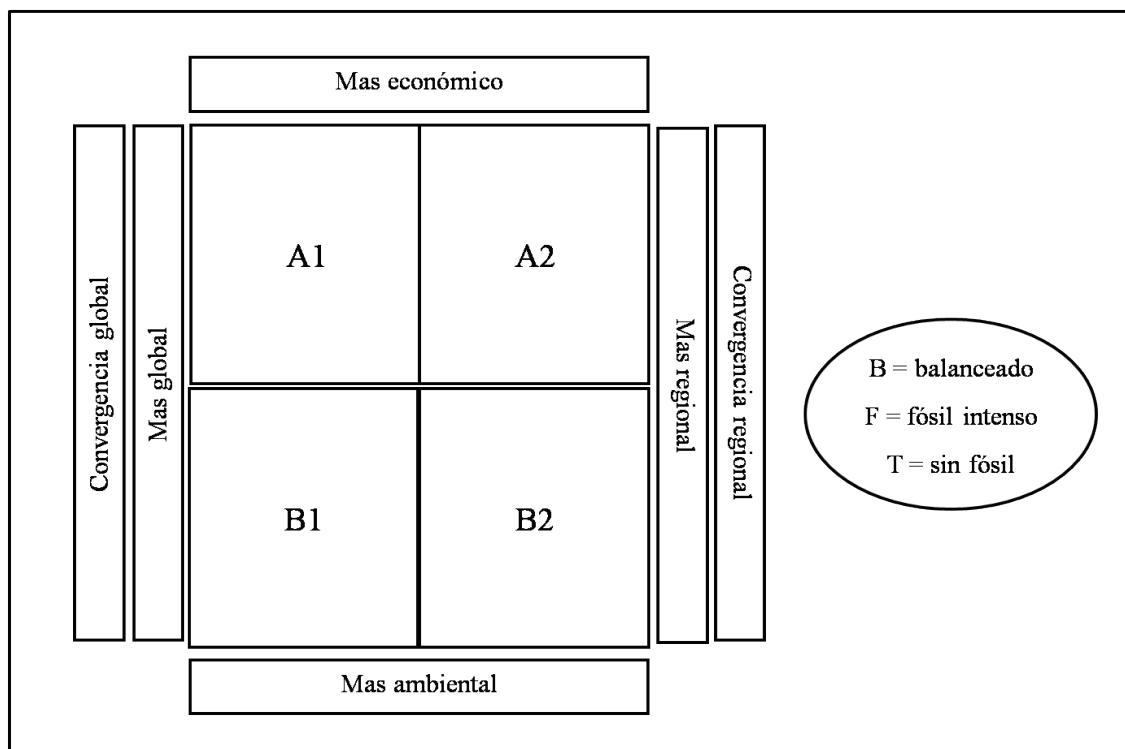
La familia de escenarios A2 refiere un planeta heterogéneo, caracterizado por una convergencia regional lenta y un continuo aumento de población. El desarrollo económico se orienta en forma regional con crecimiento económico por habitante y cambios tecnológicos fragmentados y más lentos que en otros escenarios. Para la familia de escenarios B1, se describe un planeta que

² CO₂, H₂O, CO, CH₄, N₂O y O₃.

³ CO₂, CH₄, N₂O, CF₄ y C₂F₆, HFC-23, HFCS-134a, HFC-152a y SF₆.

llega a su máximo de población mundial a mediados del siglo XXI y luego decrece; como en la historia A1, pero con un cambio rápido en la estructura económica hacia una de servicios y economía de la información. Lo que lleva a reducciones en la intensidad del material, la introducción de tecnologías limpias y uso eficiente de recursos. El énfasis se pone en soluciones globales a la economía, sustentabilidad ambiental y social, incluyendo equidad, pero sin iniciativas climáticas adicionales.

Figura 1. Familias de escenarios de cambio climático



Fuente: IPCC, 2007a.

Los escenarios de la familia B2 describen un planeta que tiene énfasis en soluciones económicas locales, con manejo eficiente de los recursos naturales y con aspiraciones a la sustentabilidad. Es un planeta con incrementos constantes en la población, a una tasa inferior que A2, niveles de desarrollo económico intermedio y menos rápido que las familias A1 y A2, que muestran mayor diversidad en los cambios tecnológicos con respecto de A1 y B1. Esta familia de escenarios está orientada hacia la protección ambiental y equidad social, enfocándose en niveles locales y regionales. Las emisiones futuras de GEI son el producto del crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico, la adaptación de innovaciones con cambio tecnológico y con una evolución futura incierta (IPCC, 2007b).

Riesgo, vulnerabilidad económico-agrícola y cambio climático

El producto de amenaza y vulnerabilidad determina el riesgo de desastre (Cardona, 2005; Espinosa y Gutiérrez, 2010). Por una parte, la vulnerabilidad refleja susceptibilidad o bien la predisposición intrínseca a ser afectado; se trata de un concepto social, (Blaikie *et al.*, 1996; Buch y Turcios, 2003; Foschiatti, 2004; Eakin, 2005; Constantino y Dávila, 2011). Esta situación determina las condiciones que favorecen o facilitan que haya daño frente a una amenaza (Cardona, 2001). Se trata de la fragilidad, lo opuesto de capacidad y fortaleza (Lavell, 2001). En términos de las comunidades o poblaciones sería la incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, es decir, su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio (Wilches-Chaux, 1993). Así, la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales se constituye como uno de los elementos centrales en el debate sobre la sustentabilidad (Turner *et al.*, 2003).

En tanto que el otro concepto clave es la amenaza, para el presente estudio se trata del cambio climático, que supone un reto para la seguridad alimentaria y, en general, la producción agrícola, especialmente en las regiones más vulnerables del planeta (Bancet, *et al.*, 2010), al actuar como una amenaza sobre los sistemas agrícolas especialmente con efectos sobre la disponibilidad de agua, la seguridad alimentaria y los ingresos agrícolas (IPCC, 2014). Una economía de base agropecuaria es más vulnerable ante los efectos probables del cambio climático (Stern, 2009).

A escala mundial la agricultura representa 4% del PIB; en tanto que para América Latina asciende a 5% y en Norteamérica apenas supone 2% (WB, 2017). Para México, el sector agropecuario en su conjunto representa 3.3% del PIB, en tanto que para Michoacán es 11% (INEGI, 2014: 2). De manera que la importancia relativa para el estado es considerable, en comparación con el escenario nacional. La vulnerabilidad para padecer los efectos mencionados depende de la superficie de temporal, la producción y su relación con la economía regional. Para México, en promedio, 75% de la superficie agrícola sembrada (1990-2007) fue de temporal (Santiago, 2009).

Para la región de la Tierra Caliente de Michoacán la vulnerabilidad al cambio climático se relaciona con dos variables: la ubicación geográfica y los aspectos socioeconómicos. Ciertos grupos de la población pueden ser más vulnerables, como es el caso de los productores agrícolas; aún al interior de dicho grupo hay algunos que lo son más. No obstante, en conjunto, la vulnerabilidad de algunos grupos incide en otros, según su relación de interdependencia e interconexión con la economía local.

Cambio climático y vulnerabilidad agrícola: antecedentes y perspectivas

Se ha estudiado la vulnerabilidad al cambio climático en la región de Tierra Caliente, clasificándola con un grado promedio de vulnerabilidad respecto a la escala nacional. Se llega a dicho resultado desde dos metodologías distintas (Monterroso, *et al.*, 2012), en tanto que, el alta climática, coloca a la región con una vulnerabilidad entre media y baja, respecto al conjunto del país (Gay y Conde, 2013). En términos de capacidades adaptativas se ubica en la media nacional; en sensibilidad al cambio climático se clasificó como baja respecto de la media nacional y en referencia a la exposición al cambio climático se situó en la media nacional (Monterroso, *et al.*, 2014). Por su parte el INECC (2013) clasifica como altamente vulnerables a quince de los 113 municipios de Michoacán, de los cuales tres pertenecen a la región del presente estudio (Turicato, Tacámbaro y San Lucas) (INECC, 2013). En los estudios mencionados la región ha sido explorada bajo una escala y una perspectiva comparativa en la referencia nacional, lo que constituye un punto de partida relevante. Los datos obtenidos bajo distintas metodologías y parámetros de comparación arrojan información valiosa. No obstante, es necesario aún verificar lo que ocurre con los escenarios regionalizados y conocer más detalles a una escala regional.

En los efectos del cambio climático en la agricultura, desde la perspectiva de escenarios, se ha encontrado que el cambio climático puede incrementar la pobreza, mediante reducciones de producción de granos básicos. En África y en América Latina se estima que los impactos en la producción agrícola experimentarán una reducción de 10% en la producción de maíz hacia el año 2055, equivalente a pérdidas de \$2 mil millones de dólares al año, con afectaciones en pequeños agricultores (Jones y Thornton, 2003).

En América Latina se han llevado a cabo diversos estudios sobre el impacto del cambio climático en el sector agrícola. El Salvador, por ejemplo, ha sido identificado como altamente vulnerable a los efectos climáticos. Como evidencia, se muestra el aumento en número e intensidad de desastres naturales en los últimos años, con repercusiones sobre la economía del país. El sector agropecuario es fundamental como proveedor de empleos y como impulsor del crecimiento económico en este país. Las proyecciones de los escenarios apuntan a un aumento de la temperatura entre 2 °C y 5 °C, y a una reducción de la precipitación entre 18% y 40% (Ordaz *et al.*, 2009).

En Argentina, se aprecia la vulnerabilidad de la producción agrícola en la región pampeana, mediante el uso de los escenarios climáticos A2 y B2 para el 2080. Sugieren que el impacto del escenario A2 sería negativo en la mayor parte de la región, con una reducción promedio del rendimiento de 4% en trigo, 9% en maíz y 14% en soja; bajo el escenario B2 la reducción media sería

similar en trigo (3%) y algo menor en maíz (6%), mientras que en soja se esperan incrementos del 3% (Magrin *et al.*, 2009).

En Costa Rica las proyecciones estiman efectos negativos entre 0.5% y 6.0% del ingreso por renta (alquiler) de la propiedad e impactos económicos del cambio climático sobre la producción agropecuaria en relación al PIB de 2007, los resultados sugieren que de no tomarse medidas, hacia 2050 las pérdidas serían de entre 1% y 2% del PIB con una tasa de descuento de 4% (Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta y Serna , 2010).

En México se han llevado a cabo diversos estudios sobre el impacto del cambio climático en el sector agrícola a escala nacional y local, y se señala que la actividad agrícola, bajo condiciones de cambio climático, requiere de escenarios precisos, dada la vulnerabilidad de este sector a cambios en el clima y a su dependencia de los regímenes de lluvia y su relación con los cultivos alimentarios. La agricultura es uno de los sectores más vulnerables por los posibles cambios en el clima, así como por los posibles desastres hidrometeorológicos que pudieran llegar a impactar a los mismos (Ferrer *et al.*, 1995; Conde *et al.*, 2004; Gay, 2000; Conde *et al.*, 2004).

Los resultados de un estudio realizado en Jalisco-Méjico, empleando dos modelos de cambio climático en el periodo 2041-2060 bajo el escenario A2, proyectan un incremento en la superficie no apta para el cultivo del maíz entre 63% y 90%, debido principalmente a la pérdida de humedad en el suelo, por lo que se sugiere que los cambios de mayor magnitud se darían en las zonas centro, norte y este del estado (Tinoco *et al.*, 2011).

En Toluca, Estado de México, las alteraciones posibles que puede traer el cambio climático en la producción de maíz de temporal y los escenarios de emisiones A2 y B2 para 2050, señalan que la temperatura y la precipitación tendrán desenlaces negativos en el desarrollo fenológico del maíz, afectando la floración y reduciendo de manera acentuada la producción. El cambio climático más probable es el ascenso de la temperatura del aire en promedio de 2 °C; en cuanto a la precipitación pluvial la alteración es mayor y en algunos casos se escenifica una disminución de 40%. Sin embargo, es de esperarse que existan regiones donde la precipitación aumente (Granados y Sarabia, 2013).

En la regionalización de escenarios de cambio climático en México, realizada por Gómez-Mendoza, Bello y Cruz (2017), para la reserva de la biosfera de la Sierra Gorda —en escenarios al 2099 y empleando la aplicación de LARS-WG— estiman que ocurrirá un incremento en la temperatura media de entre 1 °C y 2 °C, mientras que la precipitación aumentará hasta tres milímetros (Gómez-Mendoza, Bello y Cruz, 2017). Estos resultados son consistentes con lo encontrados por Martínez y Ramos (2013), llegando a la conclusión de que la región es vulnerable a los efectos del clima seco, pero que presenta un régimen hidrológico húmedo y que el mayor volumen de agua

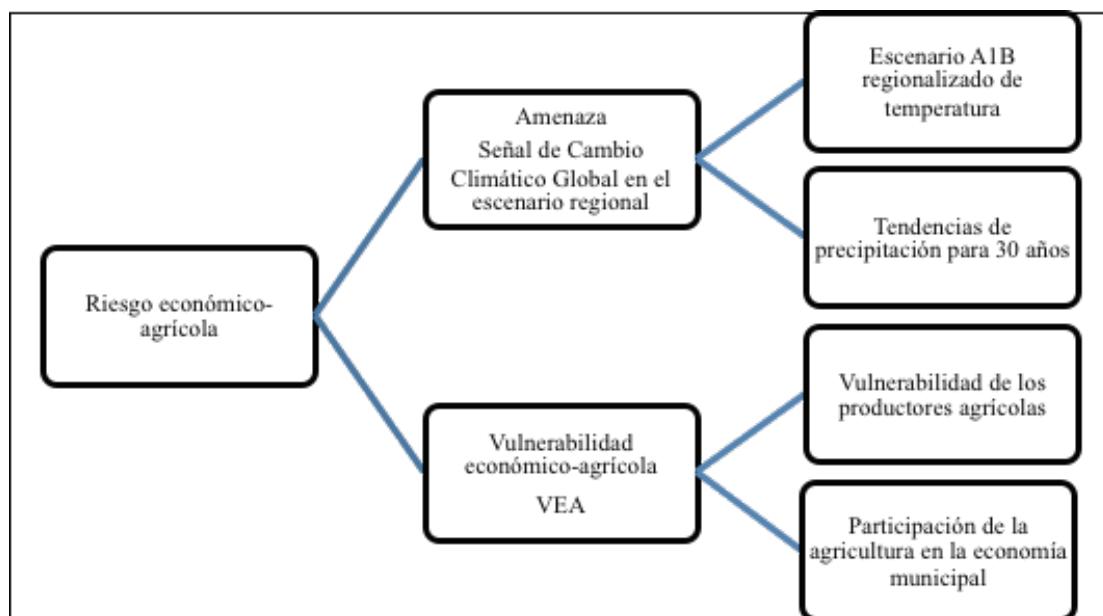
de lluvia deriva de los ciclones que entran por el Golfo de México. Esta situación plantea un reto importante en términos de la gestión y manejo integral del agua, dada la situación de sequía en la zona.

En materia agrícola, el clima determina en buena medida la distribución y tipo de cobertura vegetal, la variabilidad climática, en particular, la reducción en la precipitación o cambios en la disponibilidad de agua. Para la región Tierra Caliente de Michoacán las sequías son los episodios que se estima serían cada vez más recurrentes. En casos en que los cultivos se aproximan a su límite de tolerancia, sobre todo en la agricultura de temporal, lo más probable es una reducción del rendimiento (Conde *et al.*, 2004).

Materiales y Métodos

Para alcanzar el objetivo de diseñar una metodología que permita cuantificar el riesgo económico y agrícola del cambio climático (REACC) en la región de Tierra Caliente, se parte de considerar que los componentes del riesgo son los conceptos: vulnerabilidad; capacidades de producción agrícola (VUPA) e importancia relativa del valor agrícola en la economía municipal (A_{ij}) y amenaza, señal del cambio climático en el escenario A1B regionalizado (Diagrama 1).

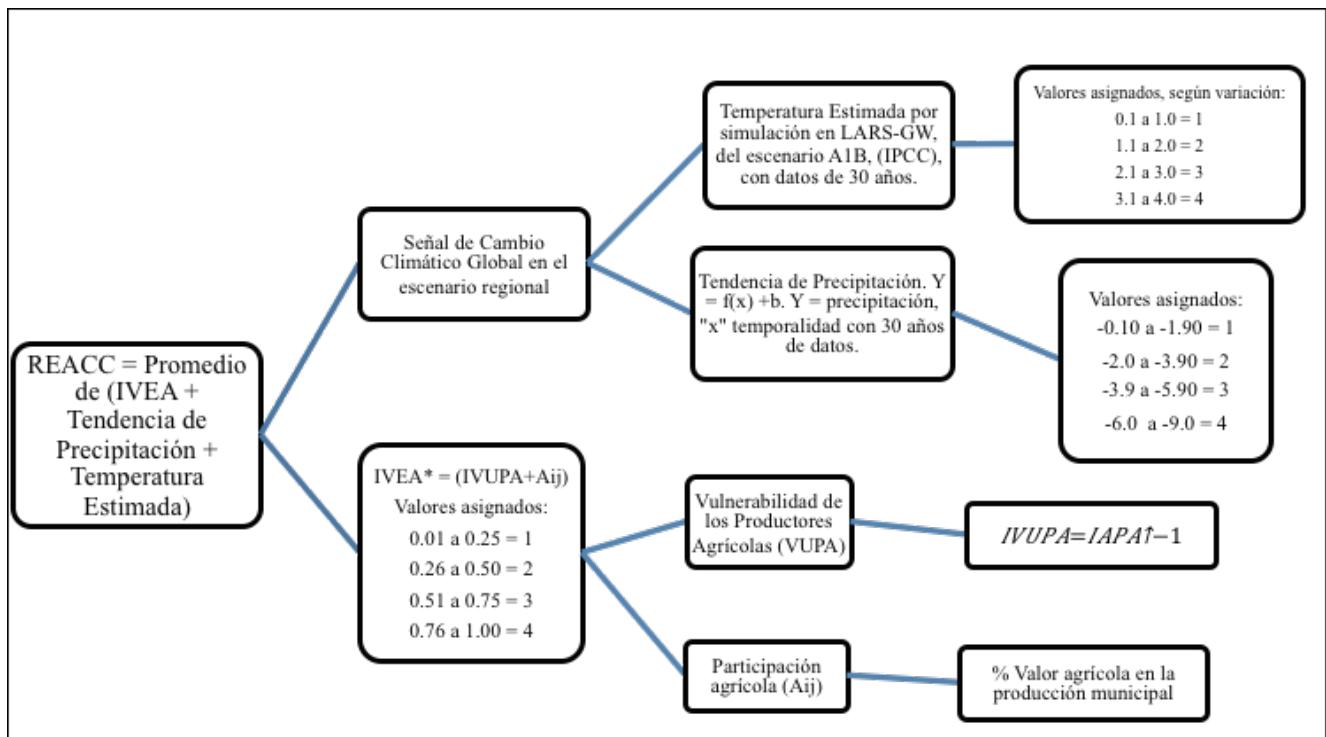
Diagrama 1. Conceptos de la metodología empleada



Fuente: elaboración propia.

La operacionalidad conceptual, traducida a variables e indicadores, se observa en el Diagrama 2, destacando que se asignó una escala de cuatro rangos, con valores entre “1” y “4”, para las dos variables —vulnerabilidad y amenaza—; si se acerca a la unidad es menor el riesgo y viceversa si se aproxima a un valor de cuatro (véase Diagrama 2). El máximo valor —mayor riesgo—, alcanzará un valor de doce —cuatro en cada variable—; el mínimo sería “3” —uno en cada variable— para el menos vulnerable. En el cálculo del promedio, el valor menor es “1” y el valor mayor es “3”. Enseguida se explicará la obtención de cada variable; temperatura, precipitación y vulnerabilidad.

Diagrama 2. Operacionalidad del diagrama conceptual para la medición del riesgo



* Los valores fueron normalizados para poder efectuar la adición. La normalización se realizó considerando los 113 municipios de Michoacán, a fin de tener un espectro de comparación más amplio.

Fuente: elaboración propia.

Escenarios de temperatura y modelo de simulación LARS-WG

Los escenarios de cambio climático de las temperaturas máximas y mínimas se estimaron mediante un generador estocástico de tiempo meteorológico que regionaliza los escenarios de cambio climático llamado LARS-WG (Long Ashton Research Station Weather Generator). Son los datos diarios

de tiempo de un sitio particular con las mismas características estadísticas de la serie real de la estación con información diaria, bajo condiciones de clima presente y futuro (Semenov y Barrrow, 2002; Semenov, Brooks y Barrow, 1998). LARS-WG utiliza una distribución semiempírica para aproximarse a las distribuciones de probabilidad de las series secas y húmedas, precipitación diaria, temperaturas mínima y máxima y la radiación solar en distribución de probabilidad acumulativa (Semenov y Stratonovitch, 2010).

En el presente trabajo, primero se calibró el modelo LARS-WG analizando las características estadísticas de los datos observados diariamente en el periodo 1961-1990; después se generaron las muestras diarias, 30 años, bajo cambio climático. Los parámetros estadísticos obtenidos de la calibración y los datos de escenarios mensuales, según la celda del modelo *multiensamble* al que corresponde cada estación; se construyeron además las series futuras para la climatología 2025, 2050 y 2075 empleando el escenario de emisiones A1B del IPCC, 2007a y 2007b.

Para proyectar la climatología en la región de estudio se realizó un análisis espacial y temporal de la información climatológica con la base de datos de CLICOM (Climatic Computing Project). Se seleccionaron las estaciones con mayor calidad de información; así, de 20 estaciones revisadas sólo nueve pasaron las pruebas de calidad que consistieron en: a) contar con un mínimo de 30 años de información, b) 95% o más de los datos disponibles y, c) verificación de los *outlayers* y congruencia de los registros de temperatura y precipitación. Para este último punto se cruzó información entre estaciones cercanas y se consultaron fuentes secundarias que confirmaran la anomalía estadística (*outlayers*), como hemerografía y entrevistas con adultos mayores de la región. Las estaciones climatológicas seleccionadas se ubicaron en los municipios de Madero, Tacámbaro, Huetamo y Turicato.

Tabla 2. Escenarios climáticos seleccionados para las proyecciones de LARS-WG

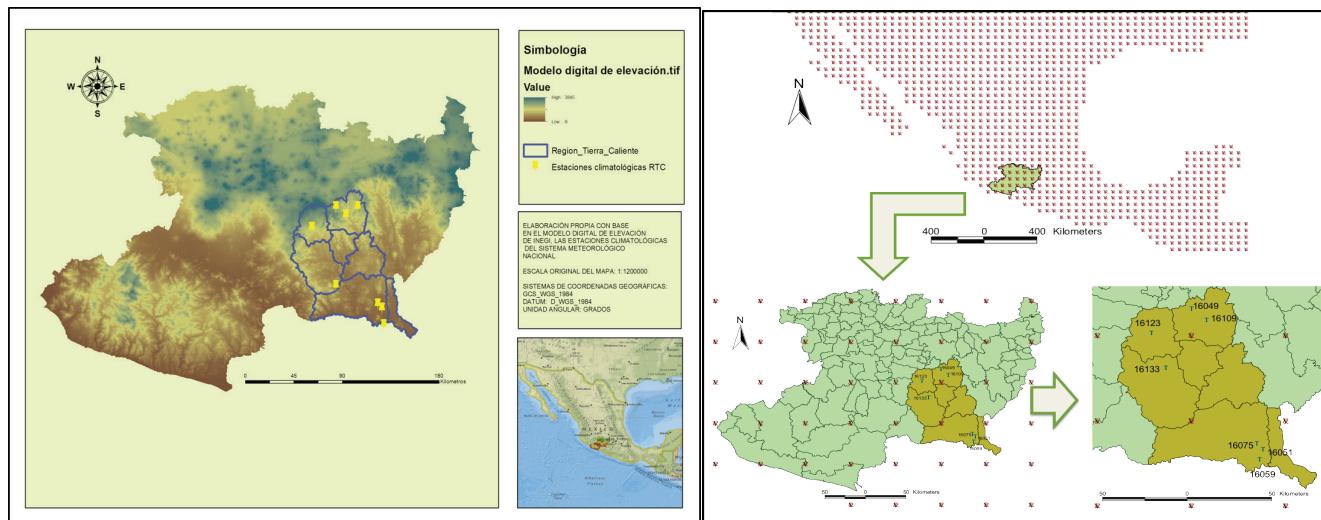
N.º	Estación	Nombre	Municipio	Escenarios climáticos	
				X	Y
1	16051	Huetamo	Huetamo	-100.25	18.75
2	16059	La Caimanera (CFE)			
3	16075	Los Pinzanes (CFE)			
4	16133	Turicato	Turicato	-102.75	19.75
5	16109	San Diego Curucupatzeo	Madero	-101.25	19.25
6	16049	Etúcuaro			
7	16140	Villa Madero (CFE)			
8	16139	Villa Madero	Tacámbaro		
9	16123	Tacámbaro			

Fuente: elaboración propia con datos de IPCC, 2007b.

La Tabla 2 muestra las coordenadas X e Y correspondientes a los pixeles más cercanos a las estaciones climatológicas de la región de estudio. La Figura 3 muestra las estaciones, su ubicación y su cercanía con pixeles de referencia de la cartografía de escenarios climáticos que propone el IPCC, 2007b. El análisis de LARS-WG generó archivos de datos para cada estación correspondientes a: C25WG.st, C50WG.st y C75WG.st para el escenario A1B. Los parámetros obtenidos fueron los siguientes: temperatura máxima, percentil 95, percentil 75, mediana, percentil 25, percentil 05 y temperatura mínima. Dado que no se cuenta con estaciones en todos los municipios se consideró la más cercana, suponiendo que es representativa del municipio y el pixel para el cruce de los valores.

Para las proyecciones de precipitación se trabajó con los datos homogeneizados con RHtest-TV4, lo que permitió realizar un diagnóstico de homogeneidad de los datos de manera accesible con base en pruebas estadísticas específicas (Wang y Feng, 2007). El primer tratamiento de la información fue la conversión de los datos, pasando de escala diaria a escala mensual, mediante la función *Transform data*. Posteriormente se comprobó la homogeneidad de las series con FindU. Luego se revisaron los gráficos históricos, para descartar puntos de quiebre en la serie (*break point*). Por último, se obtuvieron los gráficos y las ecuaciones de la tendencia en el tiempo.

Figura 3. Estaciones climatológicas en la región de Tierra Caliente de Michoacán y cartografía del cambio climático



Fuente: elaboración propia con datos de CLICOM (2017), INEGI (2013) e IPCC (2007b).

Tabla 3. Índice de vulnerabilidad de los productores agrícolas (IVUPA): integración de variables y cálculo

Variables					
Tecnicidad (Tec) (+)	Riego (R) (+)	Tracción (Tr) (+)	Instalaciones (I) (+)	Calidad de la superficie (CS) (-)	Acceso a financiamiento (+)
Fertilizantes químicos (Fq), semilla mejorada (Sm), abonos naturales (An), herbicidas químicos (Hq), insecticidas químicos (Iq), insecticidas orgánicos (Io), quema controlada (Qc) y otra tecnología (Ott)	Usa riego (R)	Tr	Beneficiadora (Be), deshidratadora (Ds), empacadora(Em), seleccionadora (Se), desfibradora (De) y otras instalaciones (Qi)	Ensalitrada (En) y/o erosionada (Er)	Seguros (Se) y/o créditos (Cr)
Integración de las variables para el cálculo del IVUPA					
<u>Operacionalidad (Paso 1):</u> $VNx_1 = \frac{x_1 - xm}{\sigma_x}$ <p>(Ecuación 1)</p> <p>Donde:</p> <p>VNx₁: valor normalizado de x₁ x₁: valor del indicador xm: media de la serie x σ_x: desviación estándar de la serie x</p>	<u>Operacionalidad (Paso 2):</u> $Tec = \sum(Fq + Sm + An + Hq + Iq + Io + Qc + Ott)$ $R = \sum R$ $Tr = \sum(Me + NMe + Hm)$ $I = \sum(Be + Ds + Em + Se + De + Oi)$ $CS = \sum(Er + En)$ $Af = \sum(Seg + Cr)$		<u>Operacionalidad (Paso 3):</u> $AA = \sum_{i=1}^n (Tec + R + Tr + I - Cs + Af)$ <p>(Ecuación 2)</p> $IVUPA = (IAPA)^{-1}$ <p>(Ecuación 3)</p>		

Fuente: elaboración propia

Cálculo de la vulnerabilidad económico-agrícola

Se parte de la premisa de que la vulnerabilidad económica del impacto agrícola (VEIA) en un municipio dependerá al menos de dos aspectos: a) la vulnerabilidad de los productores agrícolas (VUPA) y b) la participación de la actividad agrícola en la economía municipal; de manera que el municipio

más vulnerable será aquel con una elevada participación de la agricultura en su economía y con una elevada VUPA. Por tanto, la vulnerabilidad se integra de dos índices: IVUPA y la participación de la actividad agrícola en la economía municipal (AIJ).

El índice de vulnerabilidad de los productores agrícolas (IVUPA) emplea la información sobre las unidades agrícolas en Michoacán con datos de INEGI 2007. Así, se usaron 20 indicadores, que se describen en la Tabla 3, y estos indicadores se normalizaron y se estandarizaron. La referencia de normalización fue el estado de Michoacán, para tener un referente más amplio. Luego se hizo la adición o sustracción de los valores para cada variable, procediendo con la adición global; como resultado se obtiene el índice de avance de los productores agrícolas (IAPA), la inversa de éste es la VUPA.

Para la participación de la agricultura en la economía municipal (AIJ) el cálculo fue la obtención de la proporción del valor de la producción agrícola municipal en el valor económico total. Para ello se integraron las actividades económicas: agricultura, ganadería, actividad forestal, pesca, industria, comercio y servicios.

La participación de la agricultura en la economía municipal se normalizó. Una vez que IVUPA y AIJ tienen valores homogéneos se suman para obtener el índice de vulnerabilidad económico-agrícola (IVEA). En los valores normalizados en relación a los 113 municipios de Michoacán, el resultado oscila entre 0.0 IVEA = 1.0.

Resultados

Escenarios de temperatura; la señal regional del cambio climático

La Tabla 4 muestra los resultados de los escenarios proyectados para la RTC a partir de las diferencias de la media observada y la media proyectada para el escenario A1B de 2025, 2050 y 2075. Se observa un aumento en la temperatura máxima y disminución de la temperatura mínima para para la región. Para el escenario A1B, estimando temperaturas crecientes que van desde 0.4 °C hasta 3.2 °C en temperaturas máximas, en tanto que se presenta un incremento que va de 0.4 °C hasta 3.1 °C en las temperaturas mínimas, para el período 2025-2075.

El aumento de la temperatura máxima tendrá como consecuencia una variación del clima regional; esto es consistente con la señal del cambio climático. Por lo que se espera que los efectos en las actividades económicas del sector primario tengan consecuencias en el rendimiento, aumento de los períodos de estiaje y días cálidos con temperaturas máximas más altas, así como un incremento de la temperatura promedio.

Tabla 4. Escenarios de variación para temperaturas máximas y mínimas en la RTC, 2025-2075

Estaciones	Municipio	Escenario A1B					
		2025		2050		2075	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
16051 Huetamo	Huetamo	0.4	1.6	1.1	2.3	1.9	3.0
16059 La Caimanera*		0.5	1.3	1.3	2.0	2.0	2.8
16075 Los Pinzanes*		0.9	1.0	1.7	1.7	2.4	2.5
16133 Turicato	Turicato	0.6	0.4	1.3	1.1	2.1	1.8
16123 Tacámbaro	Tacámbaro	1.1	1.5	1.9	2.2	2.6	3.0
16109 San Diego C.	Madero	1.6	1.6	2.4	2.3	3.2	3.1
16049 Etúcuaro		0.7	0.5	1.4	1.2	2.2	2.0
16140 Villa Madero*		0.7	0.8	1.4	1.5	2.2	2.2
16139 Villa Madero		0.8	0.4	1.5	0.4	2.3	1.1

* Estaciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Fuente: elaboración propia, con datos de CLICOM, 2017.

Tabla 5. Tendencia histórica de la precipitación en la región para varios años

Estación climatológica	Localidad	Ecuaciones precipitación	Período considerado (años)
16051	Huetamo	$y = -0.9804x + 842.66$	1924-2010
16059	La Caimanera, Huetamo	$y = -1.8523x + 1001.3$	1960-2000
16075	Los Pinzanes, Huetamo	$y = -0.4029x + 829.6$	1965-2000
16109	San Diego Curucupatzeo, Madero	$y = -2.4575x + 1218.8$	1922-1990
16139	Villa Madero	$y = -3.6505x + 1359.4$	1959-1984
16049	Etúcuaro, Madero	$y = -6.4960x + 1211$	1952-1992
16140	Villa Madero	$y = -8.0102x + 1312.3$	1963-1992
16123	Tacámbaro, Mich.	$y = -1.8064x + 1163$	1944-2002

Fuente: elaboración propia, con información de CLICOM, 2017.

Tendencias de la precipitación en la región: la señal del cambio climático global

Los resultados de las tendencias de los registros de precipitación, analizadas con RHtestV4, se muestran en el tipo de relación, directa o inversa. En todos los casos la relación entre tiempo y precipitación pluvial muestra una pendiente negativa, lo que sugiere una tendencia decreciente a largo plazo con una razón promedio de 1.07 milímetros en el caso de Huetamo. Las estaciones climatológicas de Madero presentaron los valores con la mayor variación, denotando una reducción de la precipitación de entre 6.4 y ocho milímetros por año (Tabla 5). Según esta tendencia, la señal de cambio regional en la precipitación se encuentra presente, lo que apoya la hipótesis de que el cambio climático se manifiesta en la Tierra Caliente.

Vulnerabilidad económico-agrícola de la región

Las variaciones proyectadas para la agricultura tendrían consecuencias en función de la susceptibilidad tanto de los productores agrícolas como de la dependencia económica de esta actividad. El IVUPA muestra los valores más elevados de la región Tierra Caliente para Madero y Nocupéitaro, lo que indicaría que productores de estos municipios son quienes tendrían menos capacidades de respuesta ante eventos climatológicos, como los sugeridos por los escenarios regionales. La proporción de la agricultura en la economía municipal apunta a que Tacámbaro, Turicato y Carácuaro tienen la mayor proporción de la economía vinculada a la agricultura en la región.

Los índices que se aprecian en la Tabla 6 muestran por una parte los componentes del IVUPA, al tiempo que se aprecia cuáles son los aspectos que se pueden fortalecer en lo interno de los productores agrícolas. En el caso de la tecnología se aprecia que Carácuaro, Madero y Nocupéitaro presentan los niveles más bajos; en relación a las instalaciones agrícolas, sólo Huetamo muestra un ligero avance en la región. Por otra parte, la proporción del valor agrícola en relación al PIB municipal muestra que Turicato, Tacámbaro y Carácuaro generan más de la tercera parte del valor en la agricultura, lo que denota una economía concentrada en esta actividad (Tabla 6 y Tabla 1).

El índice de vulnerabilidad económico-agrícola (IVEA) integra estos dos índices, y dado que están en unidades comparables se sumaron. Se aprecia que Nocupéitaro y Madero son los municipios más vulnerables, seguidos de Carácuaro y Turicato. El IVEA es consistente desde el razonamiento de que los productores agrícolas son una parte de la economía municipal (Tabla 6). Sin embargo, desde el AIJ, se aprecia la incidencia que tiene la actividad agrícola en la economía municipal. El promedio de ambos índices estaría integrando los dos aspectos. Por tanto, se pueden apreciar los aspectos que pueden reforzarse para fortalecer las capacidades internas municipales.

Tabla 6. Componentes del IVUPA e IVEA en la región Tierra Caliente

Municipio	Tec	R	Inst	CS	Trac	AF	AIJ	IVUPA	IVEA
Carácuaro	0.25	0.91	0.0	0.32	0.28	0.94	32%	0.37	0.50
Huetamo	0.89	0.53	0.14	-0.17	0.58	0.95	15%	0.34	0.30
Madero	0.25	0.25	0.0	-0.15	0.37	0.95	16%	0.60	0.74
Nocupéitaro	0.26	0.24	0.0	-0.13	0.30	0.94	17%	0.62	0.77
San Lucas	0.47	0.55	0.0	-0.15	0.33	0.94	16%	0.47	0.47
Tacámbaro	0.68	0.4	0.35	-0.09	0.69	0.94	36%	0.15	0.40
Turicato	0.52	0.24	0.04	0.53	0.66	0.95	33%	0.34	0.40

Fuente: elaboración propia, a partir de datos del INEGI (2007, 2015).

La Tabla 7 muestra la ponderación asignada para las tres variables de estudio: vulnerabilidad, temperatura y precipitación —con base en el Diagrama 2— para la integración del índice de riesgo económico-agrícola ante el cambio climático (IREACC) y el promedio del mismo. Los resultados sugieren que los municipios con mayor riesgo en la región son Madero, Nocupéitaro y Tacámbaro.

Tabla 7. Composición del IREACC en la región de Tierra Caliente

Municipio	IVEA	Temperatura al 2025	Tendencia de Precipitación	IREACC	IREACC promedio
Carácuaro	2	1	1	4	1.3
Huetamo	1	1	2	4	1.3
Madero	3	1	4	8	2.7
Nocupéitaro	4	1	2	7	2.3
San Lucas	2	1	1	4	1.3
Tacámbaro	2	2	2	6	2.0
Turicato	2	1	1	4	1.3

Fuente: elaboración propia.

Discusión

La región de la Tierra Caliente michoacana presenta la señal del cambio climático desde el análisis de escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC, 2007a y 2014, lo que se manifiesta en dos tendencias: a) aumento de las temperaturas promedio y b) reducción de la precipitación anual acumulada, para distintos períodos considerados. La metodología empleada sugiere que la temperatura aumentará más para 2050 y 2075; desde la metodología empleada, esto aumentaría la amenaza de la temperatura y por tanto el REACC. Esto parte del supuesto de que los aumentos de temperatura tienen consecuencias negativas, situación que ocurre bajo ciertas circunstancias.

Desde esta perspectiva del riesgo, la variable sobre la que se tiene control es la vulnerabilidad, que se puede reducir mejorando las capacidades en los 20 indicadores propuestos para el IVUPA y diversificando la economía municipal. Los efectos sobre la producción agrícola bajo las condiciones sugeridas por los escenarios pueden ir en los siguientes sentidos:

1. Aumento de los períodos de sequía; supone una reducción del rendimiento bajo las actuales condiciones productivas y culturales en la región. La probabilidad del incremento de las sequías se aprecia tanto en las tendencias mostradas como en la intensidad y frecuencia de los fenómenos meteorológicos que se pueden presentar, que ya han acontecido en lo que va del presente siglo, según el SPI⁴ calculado por Ortega (2017).
2. Reducción de los rendimientos consecuencia de que los cultivos de la región se acerquen a su máximo límite de tolerancia.
3. Aumento de las plagas y enfermedades de los cultivos, bajo el supuesto de que las variaciones de temperatura y precipitación ocasionan un incremento de la incertidumbre para el manejo de brotes y resistencia de las mismas.

Es importante señalar que los escenarios de cambio climático a escala regional son un instrumento para apoyar la planeación ante un futuro posible, según las condiciones estimadas y los supuestos señalados. La concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en los modelos del clima tiene diversas limitaciones para su simulación, por ejemplo, la señal espacial de la variabilidad interdecadal del ciclo hidrológico, debido a la calidad de los datos disponibles. Actualmente a menos de diez años de distancia, ¿qué implicaciones tendría un futuro en la temperatura A1B para la agricultura regional o bien para el sector agropecuario en su conjunto? Si bien se desconocen los efectos

⁴ SPI (Standardized Precipitation Index).

precisos de estos parámetros sobre los cultivos, la hipótesis es que incidirá negativamente en la producción agrícola. No obstante, es necesaria la realización de trabajos de investigación sobre la incidencia concreta en los cultivos.

Las tendencias de la precipitación han sido analizadas desde los datos disponibles en las estaciones seleccionadas. No obstante, vale la pena destacar que la precipitación acumulada es un dato con limitantes en el sentido de que no se destaca la distribución de la misma a lo largo del año. Al respecto queda pendiente un análisis más profundo para conocer la distribución temporal de la lluvia. El cálculo de vulnerabilidad económica para la actividad agrícola, y su impacto en la economía municipal, han servido como referente para identificar a aquellos municipios de la región que al parecer tendrán las consecuencias más adversas. Es por ello importante que la información se pueda tomar como referencia para atender esta situación con medidas preventivas y estrategias que apoyen a los productores agrícolas, así como a la economía municipal. Cabe señalar que una de las debilidades de nuestro trabajo es que no se cuenta con información climatológica que tenga la calidad requerida para el estudio en todos los municipios, por lo que se tomó como referencia la estación más cercana, asumiendo que las condiciones de clima son semejantes.

Conclusiones

Los municipios de la región de la Tierra Caliente se encuentran entre los más vulnerables de Michoacán y de México ante los efectos del cambio climático, según los escenarios globales diseñados por el IPCC. Si bien hay estudios regionalizados de escenarios climáticos, no son abundantes y estos pueden reforzar o refutar los resultados obtenidos por el IPCC a escala local. El presente estudio regionalizó los escenarios para una parte de la región del trópico seco mexicano, la Tierra Caliente de Michoacán, afianzando los escenarios esperados por el IPCC.

La hipótesis planteada se pudo demostrar, dado que en primer término se verificó la señal del cambio climático en la región, y a la vez la metodología empleada ayudó a identificar los municipios con mayor impacto potencial ante el cambio climático. También se alcanzó el objetivo de conocer los aspectos de la vulnerabilidad de los productores agrícolas que pueden fortalecerse para reducir la vulnerabilidad.

Los escenarios climáticos obtenidos muestran la variación climática como aumento de la temperatura y reducción de la precipitación, con base en la evidencia de más de 30 años de información histórica en todas las estaciones climatológicas. Las variaciones de la temperatura proyectadas por LARS-WG en los horizontes 2025, 2050 y 2075 son al alza continuada, a la vez que la precipitación pluvial tiende a reducir en promedio en 10%. Se pudo apreciar que todos los escenarios

muestran variaciones significativas en temperatura y precipitación, lo que constituye un aumento de la amenaza regional del cambio climático, en tanto que la vulnerabilidad o capacidades internas de los productores se mostró relativamente alta en todos los casos. Por estos motivos se recomienda el diseño de estrategias que mejoren las capacidades adaptativas de la población en los aspectos sociales, económico-productivos y en políticas de autogestión, para lo que se sugiere tomar medidas preventivas en dos aspectos: a) infraestructura y b) capacitación. El fortalecimiento de las capacidades reduce la vulnerabilidad agrícola y a la vez se recomienda fortalecer la diversificación productiva regional, para depender en menor medida del sector primario.

Es importante considerar la información como insumo para la formulación de políticas o estrategias para mejorar la calidad de vida de los pobladores de la región. En este sentido, el objetivo de diseñar una metodología para la cuantificación del riesgo bajo escenarios de cambio climático se cumplió.

Uno de los elementos a destacar es que el presente trabajo ha realizado la identificación de la vulnerabilidad económico-agrícola municipal y uno de los principales aportes es la integración de dos elementos: los escenarios de cambio climático y la vulnerabilidad de lo económico-agrícola.

Agradecimientos

El proyecto en que se basa este artículo fue financiado por la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (SICTED), la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México mediante la beca de doctorado de Alba María Ortega Gómez.

Referencias

- Bancet, Alice; López, Mónica; Costa, Pedro, y Sánchez, Vanessa (2010). *Cambio climático y lucha contra la pobreza: La experiencia africana (2009-2010)*. Madrid, España.
- Bates, Bryson; Kundzewicz, Zbigniew W.; Wu, Shaohong, y Palutikof, Jean (2008). *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC. Ginebra, Suiza: OMM/PNUMA.
- Beddington, John; Asaduzzaman, Mohammed; Fernández, Adrián; Clark, Megan; Guillou, Marion; Jahn, MollyM; Erda, Lin; Mamo, Tekalign; Van Bo, Nguyen; Nobre, Carlos A.; Scholes, Robert; Sharma, Rita; Wakhungu, Judi (2011). *Lograr la seguridad alimentaria ante el cambio climático*. Resumen para responsables de la política de la Comisión sobre la Agricultura Sostenible y el Cambio Climático. Copenhague, Dinamarca: CCAFS.

Blaikie, Piers; Cannon, Terry; David, Ian, y Wisner, Ben (1996). *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Buch, Mario y Turcios, Marvin (2003). *Vulnerabilidad socioambiental: aplicaciones para Guatemala*. Universidad Rafael Landívar-Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala: IARNA/URL.

CEPAL (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Cardona, Omar (2001). “Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos”. *Artículo y ponencia para International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice*, 29 y 30 de junio . Wageningen, Holanda: Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre.

Centro Mario Molina (2012). “Cambio Climático”. En Ximena de la Macorra; Jorge Sandoval y Antonio Vizcaíno (eds.), *Migración Humana y cambio climático*. México D.F.: Fundación BBVA Bancomer.

CLICOM, 2017. *Base de datos Climatológica Nacional (Sistema Clicom)*. Recuperado de: <http://clicom-mex.cicese.mx/>. (Última consulta en febrero de 2017).

Conde, Cecilia; Ferrer, Rosa María; Gay, Carlos, y Araujo, Raquel (2004). “Impactos del cambio climático en la agricultura en México”. En Julia Martínez y Adrián Fernández, *Cambio climático: una visión desde México* . México: Semarnat/INE, pp. 227-238.

Constantino, Roberto y Dávila I., Hilda (2011). “Una aproximación a la vulnerabilidad y la resiliencia ante eventos hidrometeorológicos extremos en México”. *Política y Cultura*, 1(36), pp. 14-44.

Eakin, Hallie (2005). “Institutional Change, Climate Risk, and Rural Vulnerability: Cases from Central Mexico”. *World Development*, 33(11), pp. 1923-1938.

FAO (2010). *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe*. FAO. Roma: Food and Agriculture Organization.

Feenstra, Jan; Burton, Ian; Smith, Joel, y Tol, Richard (1998). *Handbook on Methods of Climate Change Impacts Assessment and Adaptation Strategies*. Amsterdam, Países Bajos: United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya/Institute for Environmental Studies.

Ferrer, Rosa María; Conde, Cecilia; Villarreal, Gustavo, y Liverman, Diana (1995). *Agricultura en México y cambio climático global. Memorias del Segundo Taller de “Estudio de País: México”*. México ante el Cambio Climático, pp. 8-11.

Fisher, Anthony C.; Hanemann, W. Michael; Schlenker, Wolfram, y Roberts, Michael J. (2009). “Climate Change and Agriculture Reconsidered”. *CUDARE Working Paper*, Universidad de California, Berkeley. Recuperado de <https://escholarship.org/uc/item/33v2d7vc>

Foschiatti, Ana María (2004). “Vulnerabilidad global y pobreza”. *Revista Geográfica Digital. IGUN-NE*, 1(2), pp. 1-20.

- Gay, Carlos y Conde, Cecilia (2013). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. Fondo ambiental público del Gobierno del Distrito Federal, Conferencia Nacional de Gobernadores y Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Recuperado de <http://atlasclimatico.unam.mx/VulnerabilidadCC/Vulnerabilidad/>
- Granados Ramírez, Rebeca, y Sarabia Rodríguez, Asael Alejandro (2013). “Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), pp. 435-446.
- Gómez-Mendoza, Leticia; Bello-Mendoza, Lourdes, y Torres Dulce (2017). “Escenarios regionales de cambio climático para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato, México”. *Acta Universitaria*, 27(1), pp. 55-66.
- Jones, David; Watkins, Andrew; Braganza, Karl, y Coughlan, Michael (2009). “The Great Global Warming Swindle’: a Critique”. (National Climate Centre, Bureau of Meteorology).(*Bulletin of the Australian Meteorological and Oceanographic Society*, (20), 11.
- INECC (2013). *Desarrollo de la Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad*. Resumen Ejecutivo y Anexo Metodológico. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-qbic-Global Green Growth Institute. México D.F.
- INEGI (2007). *Censo Ejidal 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal*. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/agro/ejidal/2007/> (Última consulta en marzo de 2015).
- INEGI (2010). *xII Censo de Población y Vivienda*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_2010.aspx (Última consulta en marzo de 2015).
- INEGI (2013). *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <http://mapserver.inegi.org.mx/dsist/prontuario/index2.cfm>
- INEGI (2014). *Estructura económica de Michoacán de Ocampo, en síntesis*. Aguascalientes, México. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825084943.pdf (Última consulta en marzo de 2018).
- INEGI (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo 2015*. Recuperado de www.inegi.org.mx
- IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Nebojsa Nakicenovic (ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment*. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- IPCC (2007b). *Climate Change 2007*. Cuarto Informe de Evaluación (AR4). Recuperado de www.ipcc-data.org/

- IPCC (2014). *Climate Change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. wg AR5 Phase 1 Report Launch.* Yokohama, Japón.
- Jones, Peter G. y Thornton, Philip K. (2003). "The Potential Impacts of Climate Change on Maize Production in Africa and Latin America in 2055". *Global environmental change*, 13(1), pp. 51-59.
- Lavell, Allan (2001). "Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición". *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS*. Recuperado de <http://ns.bvs.hn/docum/crid/Mayo2004/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf> (Última consulta el 16 de junio de 2015).
- Magaña, Víctor; Conde, Cecilia; Sánchez, Óscar, y Gay Carlos (2000). "Evaluación de Escenarios Regionales de Clima Actual y de Cambio Climático futuro para México". En Carlos Gay (comp.), *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. México: Instituto Nacional de Ecología/UNAM/US Country Studies Program.
- Magaña, Víctor (2010). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Martínez, Julio; Ortega-Chávez, Víctor, y Ramos Yann (2013). "Índices climatológicos regionales para la Sierra Gorda de Guanajuato". *Acta Universitaria*, 23(6).
- Mercado, Carmen y Lorenzana, Paulina (2000). *Acceso y Disponibilidad alimentaria familiar. Validación de instrumentos para su medición*. Caracas: Serie Estudios Especiales-Área Economía Agroalimentaria. Caracas: Fundación Polar.
- Masera, Omar (2002). "Bosques y cambio climático en América Latina. Análisis y perspectivas". En Enrique Leff y Ezequiel Ezcurra (eds.), *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*. México: Jiménez Editores e impresores S. A., pp. 211-235.
- Mendelsohn, Robert; Dinar, Ariel, y Williams, Larry (2006). "The Distributional Impact of Climate Change on Rich and Poor Countries". *Environment and Development Economics*, 11(2), pp. 159-178.
- Miklos, Tomás y Tello, María (2010). *Planeación Prospectiva. Una estrategia para el Diseño del futuro*. México: Limusa.
- Monterroso, Alejandro; Conde, Cecilia; Gay, Carlos; Gómez, David, y López, José (2012). "Two Methods to Assess Vulnerability to Climate Change in the Mexican Agricultural Sector". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(4), pp. 445-461.
- Monterroso, Alejandro I.; Fernández, Agustín; Trejo, Rosa I.; Conde, Cecilia; Escandón, Jorge; Villegas, Lourdes, y Gay, Carlos (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. México: UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera/ Universidad Autónoma de Chapingo/Instituto de Geografía, UNAM/Programa de Investigación en Cambio Climático, UNAM. Recuperado de <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA/#369/z> (Última consulta en abril de 2017).

- ONU (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Organización de Naciones Unidas. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Ortega Gómez, Alba María (2017). “Cambio Climático y Agricultura en la Región Tierra Caliente de Michoacán, Escenarios 2025-2075” (Tesis de doctorado en Ciencias del Desarrollo Regional). México: ININNE/UMSNH.
- Periodico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo (2010). *Decreto de regionalización para la planeación y el desarrollo de Michoacán*. Recuperado de <http://leyes.michoacan.gob.mx/destino/O211po.pdf> (Última consulta en febrero de 2018).
- Ponce, Yasmín y Cantú, Pedro (2012). “Cambio climático: bases científicas y escepticismo”. *CULCYT: Cultura Científica y Tecnológica*, 9(46), pp. 5-12.
- Santiago Jerónimo, Abel (2009). “Análisis de la agricultura de temporal en México y su relación con las cuestiones climáticas: caso maíz y frijol” (Tesis de licenciatura en Economía Agrícola y Agronegocios). México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/> (Última consulta en mayo de 2017).
- Semenov, Mikhail A.; Brooks, Roger; Barrow, Elaine M., y Richardson, Clarence (1998). “Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates”. *Climate research*, 10(2), pp. 95-107.
- Semenov, Mikhail A. y Barrow, Elaine M. (2002). *LARS-WG, A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies*. Recuperado de <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/masmodels/download/LARS-WG-Manual.pdf> (Última consulta el 8 de octubre de 2014).
- Semenov, Mikhail y Strattonovitch, Pierre (2010). “Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts”. *Climate Research*, 41(1), pp. 1-14. Recuperado de JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/24870469>
- SIAP-Sagarpa (2016). *Servicio de información agroalimentaria y pesquera*. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/> (Última consulta en octubre de 2017).
- Stern, Nicholas (2009). *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press. Sexta Edición.
- Tinoco-Rueda, Juan Ángel; Gómez-Díaz, Jesús David, y Monterroso-Rivas, Alejandro Ismael (2011). “Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México”. *Terra Latinoamericana*, 29(2).
- Turner, Billie L.; Kasperson, Roger E.; Matson, Pamela A.; McCarthy, James J.; Corell, Robert W.; Christensen, Lindsey, y Schiller, Andrew (2003). “A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), pp. 8074–8079. Recuperado de <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Wang, Xiaolan L. y Feng, Yang (2007). *RHtestV4 User Manual*. Recuperado de http://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4_UserManual_10Dec2014.pdf

Wilches-Chaux, Gustavo (1993). "La vulnerabilidad global". En Andrew Maskrey (comp.). *Los desastres no son naturales*, pp. 11-44. LA RED: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19762>

World Bank (2017). *World Development Indicators: Structure of Output. The World Bank Data*. Recuperado de <http://wdi.worldbank.org/table/4.2> (Última consulta en junio de 2017).

Editora asociada: Dolores Molina Rosales

Recibido: 26 septiembre 2017

Aceptado: 4 junio 2018