

El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México

Agriculture risk facing climate change in the Cuitzeo region of the state of Michoacan, Mexico

Agustín Hernández Santoyo¹, Carlos Francisco Ortiz-Paniagua², Jorge Víctor Alcaraz Vera^{3*}

¹Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, 0455377h@umich.mx

²Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, carlos.ortiz@umich.mx

³Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. Tel. (52) 4433165131 jorge.alcaraz@umich.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

La agricultura es uno de los sectores más sensibles a los efectos del cambio climático (CC) en todo el mundo, en particular en algunas regiones de México. La presente investigación tiene por objetivo cuantificar la magnitud del riesgo agrícola al CC y su distribución espacial en la Región Cuitzeo (RC) en Michoacán. La metodología empleada consta de tres etapas: 1) detección de la señal de CC regional, 2) medición de la vulnerabilidad y 3) estimación del riesgo agrícola. Los resultados muestran tendencia en el incremento de la temperatura para 63% de la región y señal del CC en 80% del territorio. El riesgo agrícola al CC se distribuye de manera heterogénea y con diferente magnitud. Se concluye indicando los elementos que requieren atención para reducir la vulnerabilidad y contrarrestar la tendencia a la reducción de la precipitación pluvial en las zonas de captación de agua de la región.

Palabras clave: Riesgo agrícola; cambio climático; región Cuitzeo de Michoacán; distribución espacial del riesgo; vulnerabilidad agrícola.

Abstract

Agriculture is one of the most sensitive sectors to the effects of climate change (CC), particularly in some Mexican regions. The aim of this research is to quantify the magnitude of the agricultural risk to CC and its spatial distribution in the Cuitzeo Region (CR) in Michoacan. The methodology used has three stages: 1) detection of the regional CC signal, 2) estimation of vulnerability, and 3) measurement of agricultural risk. The results show that increase in temperature has a trend on 63% of the region and the CC signal in 80% of the territory. The agricultural risk to CC is distributed heterogeneously and with different magnitude. It concludes indicating the elements that require attention to reduce vulnerability and to make something avoid trend to reduce rainfall in the water catchment areas of the region.

Keywords: Agricultural risk; climate change; Cuitzeo region of Michoacan; spatial distribution of risk; agricultural vulnerability.

Recibido: 22 de diciembre de 2022

Aceptado: 30 de marzo de 2023

Publicado: 07 de junio de 2023

Cómo citar: Hernández Santoyo, A., Ortiz-Paniagua, C. F., Alcaraz Vera, J. V. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región de Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta Universitaria* 33, e3763. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2023.3763>

Introducción

La creciente población mundial (aproximadamente 8 mil millones de personas) (WorldoMeters [WM], 2022) se acompaña del aumento en la demanda de alimentos, por lo que la oferta tendrá que crecer. Sin embargo, la producción agroalimentaria es una actividad que contribuye sustancialmente con la degradación de recursos naturales, agua, suelo y aire (en calidad y en cantidad). De esta manera, entre los desafíos de mediano plazo que enfrenta este sector productivo se encuentran: la contaminación por agroquímicos, la generación de energía sustentable para la fabricación y suministro de insumos y el cambio climático (CC), todo ello sin rebasar la bio-capacidad regenerativa de los ecosistemas (Mukhopadhyay *et al.*, 2021).

Estos retos se encuentran presentes con mayor o menor intensidad en las distintas regiones agrícolas de México, predominando una heterogeneidad en las condiciones de producción (Gómez *et al.*, 2020). En este sentido, los pequeños productores generalmente son vulnerables a los eventos externos, a causa de su limitado acceso a la información y al financiamiento, por lo que suelen ser más afectados por las condiciones de disponibilidad de agua, la variedad de semilla, el CC y la falta de apoyos gubernamentales (Donatti *et al.*, 2019; Ureta *et al.*, 2020). Pese a esto, en México 6.8 millones de personas se ocupan en este sector (Statista, 2022), el cual aporta 3.8% al producto interno bruto (PIB) (Banco Mundial [BM], 2022) y ocupa un lugar preponderante en el mundo en producción de frutas y de hortalizas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader], 2019). Paradójicamente, también es el segundo mayor importador de maíz a nivel mundial (Trade map, 2022).

Debido a que la producción de alimentos es fundamental para la certidumbre alimentaria y social (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014), el CC supone una amenaza latente en general, en particular para naciones como México, y en específico para las regiones altamente productivas que tienen una dependencia importante del sector agrícola. Para Michoacán este sector aporta 10% a la economía estatal, siendo fundamental en la economía de algunas de sus regiones (Ortiz-Paniagua *et al.*, 2018).

En la región Cuitzeo (RC) de Michoacán habitan 1 004 723 personas, lo que representa 21% de la población del estado. Esta región contribuye con la tercera parte del PIB estatal, la agricultura representa 5% de este, que a su vez genera 15 mil empleos. La dinámica y la diversidad de los cultivos básicos regionales y de exportación sugieren que la agricultura puede ser una alternativa para detonar el desarrollo rural y reducir los niveles de pobreza (García & Reyes, 2016).

Bajo este contexto, se plantea la pregunta: ¿Cuál es la magnitud del riesgo agrícola y cómo se distribuye en la RC de Michoacán? Para esto se proponen dos objetivos: 1) identificar la tendencia al cambio climático y su distribución espacial y, a partir de ello, 2) estimar el riesgo agrícola, su magnitud y distribución espacial en la región de estudio. Para alcanzar dicho objetivo, después de esta introducción, se presenta el contexto de la actividad agrícola en la zona; posteriormente, se exponen los aspectos conceptuales y metodológicos que permitieron alcanzar los resultados, mismos que se discuten junto con el aporte metodológico, y finalmente se presentan las conclusiones.

Elementos teóricos sobre cambio climático y agricultura

La ciencia del CC presenta dos posturas encontradas en cuanto a sus orígenes (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, y Los Escépticos). No obstante la divergencia entre ambas posturas respecto a las causas del CC, y a pesar de la desinformación como estrategia deliberada (Abellán-López, 2021), hay coincidencia respecto a la existencia del fenómeno.

En este trabajo se conceptualiza como CC "...al 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 periodos de tiempo comparables" (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). De esta manera, el CC ha impactado en recursos hídricos, bosques y ecosistemas; sin embargo, la agricultura, particularmente la agricultura de temporal, es el sector más sensible a las variaciones climáticas, en parte por su baja escala de producción y técnicas rudimentarias (Tao *et al.*, 2011), ante lo cual han surgido innovaciones como la *climate-smart agriculture* o la economía azul (Clapp *et al.*, 2018).

La complejidad de la relación entre el CC y otros sistemas se puede apreciar en seis vínculos entre los siguientes sistemas: agrícola, alimentario, salud, mercados, ingresos y nutrición. Estos interactúan en una relación compleja, y es preciso fortalecer las bases de datos para rastrear los impactos de manera puntual (von Braun, 2020). Los impactos del CC implican el manejo de riesgos, concebido este como el producto de la vulnerabilidad y la amenaza (Blaikie *et al.*, 1996).

Por lo anterior, el CC se suma a la degradación ambiental que impacta en la producción de alimentos, sobre todo de temporal. Al respecto, identificar los territorios con vulnerabilidades representa un avance importante. A pesar de que los diagnósticos basados en indicadores no contemplan la complejidad de los factores que interactúan en su totalidad (Tao *et al.*, 2011), sí ayudan a aproximar el entendimiento del fenómeno.

En resumen, los efectos del CC en la agricultura se pueden apreciar en: variación de los rendimientos, aumento de la incertidumbre en la producción agrícola, adaptación y reconversión de cultivos, emigración de zonas agrícolas, seguridad alimentaria y aumento de la vulnerabilidad regional. Esto impulsa a desarrollar capacidades adaptativas al CC locales y regionales en periodos de tiempo relativamente cortos ante la incertidumbre de la ocurrencia e intensidad (Azadi *et al.*, 2019).

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivos: 1) identificar la tendencia al CC y su distribución espacial y, con ello, 2) estimar el riesgo agrícola, su magnitud y distribución espacial en la RC. La información generada puede contribuir a profundizar el conocimiento de la región, lo cual constituye un apoyo para el diseño de políticas y la intervención pública o privada para atender o prevenir desastres económicos del sector.

Área de estudio: Región Cuitzeo (RC) Michoacán México

La RC se delimita acorde a la planeación gubernamental hecha bajo los criterios de cuencas, aptitudes, articulación e infraestructura del territorio. De conformidad con estos criterios, la RC se integra de 13 municipios: Charo, Indaparapeo, Huandacareo, Copándaro, Chucándiro, Queréndaro, Cuitzeo, Santa Ana Maya, Tarímbaro, Morelia, Álvaro Obregón, Zinapécuaro y Acuitzio (Catálogo Electrónico de la Legislación del Estado de Michoacán [CELEM], 2004) (Figura 1). En ella se ubica el Lago de Cuitzeo, el segundo más extenso de México, a una altura de 1800 m. s. n. m., que cubre una extensión territorial de 3944 km², 7% del territorio michoacano (Filini, 2013).

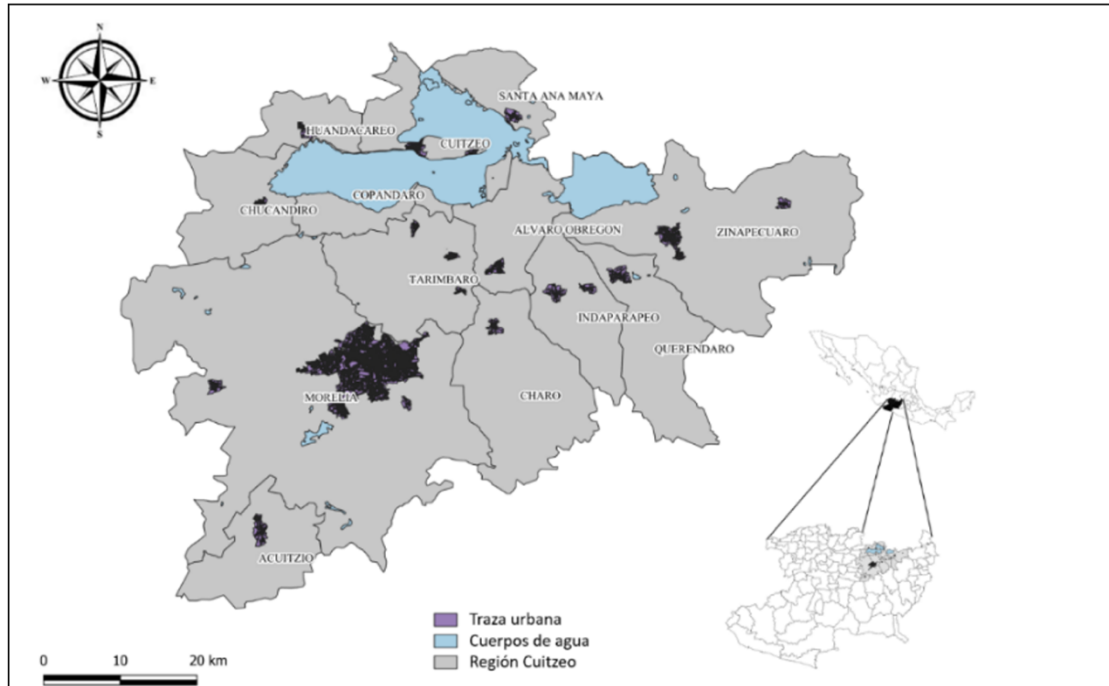


Figura 1. Región Cuitzeo, Michoacán.
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

Materiales y métodos

Para alcanzar el objetivo, se realizó el siguiente procedimiento que consta de tres fases:

1. Identificar las tendencias de CC mensual para las variables temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación pluvial (Precip) en el área de análisis como indicador de amenaza.
2. Cuantificar la vulnerabilidad de los productores agrícolas.
3. Estimar la amenaza en una escala gradual y obtener el riesgo agrícola municipal.

DetECCIÓN DE TENDENCIAS DE CC

Para la fase 1, en las tendencias climáticas regionales se analizaron las variables precipitación y temperatura con información de 25 estaciones meteorológicas (EM). Para depurar la información se realizaron cinco pruebas de calidad que sirvieron como filtros, detectando: 1) datos atípicos, 2) datos incompletos, 3) datos erróneamente capturados, 4) vacíos de información y 5) EM con menos de 25 años de datos de calidad.

Para depurar los datos, primero se procedió a su validación con fuentes secundarias, diarios, revistas y noticias sobre eventos meteorológicos extremos. Posterior a ello, se normalizaron los datos a valores "Z" en periodos mensuales. Enseguida se aplicaron las siguientes pruebas de normalidad no paramétrica: Shapiro-Wilk, Bartlett, Pettit, prueba de secuencias y prueba del coeficiente de Geary. La valoración empleada para estas pruebas consistió en obtener significancia en al menos una de ellas. Se aplicaron las siguientes pruebas de homogeneidad: Kolmogorov-Smirnov, Anderson, Spearman, von Neumann, Buishad y Gerlmert. El criterio fue obtener, como mínimo en una de las pruebas, la homogeneidad requerida para continuar el análisis (Bautista *et al.*, 2016).

Posteriormente, se empleó el *software* Clic MD, estimando el coeficiente de correlación de Mann Kendall (MK). Dada la naturaleza no paramétrica de los datos climáticos utilizados en este trabajo, el análisis de la identificación de tendencias MK se considera adecuado y pertinente. Esta prueba estadística ayuda a detectar tendencias en series de tiempo hidrometeorológicas (temperatura y precipitación). Esta prueba es robusta cuando se trata de datos que no se distribuyen normalmente y series temporales con valores faltantes que se encuentran con frecuencia en series hidrometeorológicas (Wang *et al.*, 2020).

De las 25 EM, se seleccionaron 18 que superaron las cinco pruebas y contienen información de calidad que oscila entre 26 y 73 años completos de registros climáticos diarios. Se completaron los vacíos de datos detectados calculando una media con un intervalo de confianza de cinco años, de acuerdo con el procedimiento propuesto por Bautista *et al.* (2011). La distribución geográfica de estas EM y sus resultados en la RC se puede visualizar en las Figuras 3 y 4.

Para determinar la tendencia del CC se utilizó el coeficiente de correlación de MK ($Z > 1.96$). El procedimiento de la prueba de MK se inicia mediante la comparación del dato más reciente de la serie de tiempo con los resultados anteriores. Se da una puntuación de 1 si la concentración más reciente es más grande o una puntuación de -1 si es más pequeña. La puntuación total de la serie de datos es el resultado MK, y se compara con un valor de referencia para comprobar si existe tendencia, esto es, aumento o disminución. Si no existen cambios, no hay tendencia (Gómez-Gómez *et al.*, 2003). Si no hay tendencia, no significa necesariamente que una serie de datos sea estable, sino que hay posibilidad de que no sea detectada con esta prueba, la tendencia detectada por la prueba MK constituye una señal robusta.

Cuantificación de la vulnerabilidad agrícola

Para la segunda fase metodológica se diseñó un índice para estimar la vulnerabilidad agrícola, con datos de la Actualización del Marco Censal Agropecuario (AMCA) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2016). Se le denominó Índice General de Vulnerabilidad Agrícola Municipal (IGVAM), el cual se integra de los siguientes sub-índices:

- I. Índice de superficie agrícola regional (ISPA),
- II. Índice de propiedad comunal (IPC),
- III. Índice de definición de derechos sobre la tierra (IDT),
- IV. Índice de tamaño de productores (ITP),
- V. Índice de tipo de agricultura (ITA),
- VI. Índice de tamaño de parcelas (ITAPA),
- VII. Índice de diversificación agrícola municipal (IDAM).

Las variables del IGVAM son válidas en su constructo de acuerdo con lo siguiente. La variable superficie agrícola regional considera la extensión media de las parcelas. La variable tamaño de productores supone la presencia de economías de escala (Macías, 2013), esta variable refiere al acceso a recursos (Gupta *et al.*, 2010; Monterroso *et al.*, 2014). En cuanto a la propiedad comunal, se asume que este tipo de instituciones favorecen la gobernanza (Ostrom & Ahn, 2003) y el óptimo empleo de los recursos.

La FAO (2011) considera que los derechos territoriales son un reto para las instituciones bajo escenarios de CC, ya que el contar con derechos territoriales bien definidos constituyen un requisito necesario para generar capacidades adaptativas más desarrolladas. De esta manera, la definición de derechos sobre la tierra examina el vínculo entre las instituciones clave, la asignación de la autoridad y los criterios para adoptar decisiones (Yohe & Tol, 2002), así como la provisión de poder legítima o aceptada (Gupta *et al.*, 2010). La siguiente tabla sintetiza las variables e indicadores construidos para cumplir el objetivo planteado (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes para la elaboración del índice de riesgo agrícola municipal.

Variables	indicador	Construcción
Amenaza	Tendencia de CC	Meses con detección de tendencia de CC (Número). Relación directa. Índice de Mann Kendall.
Vulnerabilidad agrícola	i) Índice de superficie agrícola regional (ISPA)	Porcentaje del área agrícola municipal en relación con la región por el peso relativo de la extensión de los terrenos.
	ii) Índice de propiedad comunal (IPC)	Porcentaje del área agrícola municipal bajo régimen comunal.
	iii) Índice de derechos sobre la tierra (IDT)	Porcentaje del área agrícola bajo cada modalidad legal por su ponderación. La ponderación va de la mayor definición (Propia = 1) a menor definición (No especificado = 0.1429).
	iv) Índice de tamaño de productores (ITP)	Porcentaje de productores minifundistas respecto al total municipal.
	v) Índice de tipo de agricultura (ITA)	Porcentaje del área total que se dedica principalmente a la agricultura al aire libre o cielo abierto.
	vi) Índice de tamaños de parcelas (ITAPA)	Indicador ponderado del área agrícola de 0 ha a 2 ha (0.25), de 2 ha a 5 ha (0.5), de 5 ha a 20 ha (0.75) y > 20 ha (1).
	vii) Índice de diversificación agrícola (IDAM)	Expresa el nivel de dependencia productiva agrícola municipal. Se obtiene de la suma de la desviación estándar del área labrada y valor de la producción de la totalidad de los sembradíos registrados al año 2021 en el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Siacon).

Fuente: Elaboración propia.

Con sustento en el marco de alternativas que la tecnología pone a disposición para poder adaptarse, en este estudio se consideró la variable tipo de agricultura, que a su vez se distingue entre agricultura cielo abierto y agricultura protegida. Finalmente, la propuesta del IGVAM incorpora la variable diversificación agrícola municipal, la cual diversifica los cultivos y con ello el riesgo (Yohe & Tol, 2002). El supuesto implícito es que cuanto mayor sea la diversificación, menor es el riesgo y mayores las capacidades de adaptación.

Estimación del riesgo agrícola

La tercera fase metodológica consistió en estimar el riesgo como el producto de la vulnerabilidad y la amenaza (Blaikie *et al.*, 1996). Esta última se obtuvo mediante la tendencia de CC en cada EM. Empleando las variables Tmax, Tmin y Precip, se obtuvieron promedios por municipio. Con información de 12 meses para cada variable, el valor máximo del que se puede identificar tendencia es 36. El municipio con más meses de tendencia se establece como base o divisor para relativizar los demás municipios y obtener valores entre 0 y 1 para cuantificar la amenaza, que es mayor al aproximarse a 1. En este sentido, el riesgo agrícola al cambio climático se estima mediante: $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{IGVAM}$, recordando que la amenaza es el valor relativizado de la tendencia, con valores entre 0 y 1.

Resultados

Los resultados por EM señalan el mes en que hay tendencia identificada, la variable y el sentido, de manera que para graduar el componente de la amenaza se construyó la Tabla 2, en la que en cada fila se registra el código de identificación de las 18 EM consideradas para el estudio, mientras que en las columnas se encuentran las variables Tmax, Tmin y Precip. Cada variable ocupa dos columnas, una para registrar la cifra de meses en los que se detectó tendencia incremental y otra para registrar los meses de tendencia a la disminución.

Tabla 2. Número de meses, variable y sentido de tendencia de CC identificada en 18 EM de la RC.

Estación	Tmax		Tmin		Precipitación		Suma
	#Meses Tend ↑	#Meses Tend ↓	#Meses Tend ↑	#Meses Tend ↓	#Meses Tend ↑	#Meses Tend ↓	
16027	5	0	0	0	1	0	6
16114	0	0	1	0	0	4	5
16045	2	0	0	5	0	1	8
16105	5	0	0	6	0	1	12
16052	0	0	0	7	1	0	8
16023	9	0	0	5	0	0	14
16001	0	7	0	0	0	1	8
16016	12	0	0	2	0	0	14
16055	8	0	0	7	4	0	19
16255	10	0	0	2	0	0	12
16028	10	0	0	5	1	0	16
16081	1	0	12	0	0	0	13
16022	11	0	0	11	1	0	23
16120	12	0	0	1	0	0	13
16254	9	0	4	0	1	0	14
16145	12	0	0	12	2	0	26
16091	12	0	5	0	0	2	19
16096	10	0	9	0	3	0	22
Suma	128	7	31	63	14	9	252
Promedio	7.1	0.4	1.7	3.5	0.8	0.5	
Porcentaje	50.79%	2.78%	12.30%	25.00%	5.56%	3.57%	

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia con mayor presencia fue Tmax al alza, con 128 casos, que representan 50.8% de los meses en los que se detectó tendencia, seguido de 25% de los casos con Tmin a la baja (Figura 2).

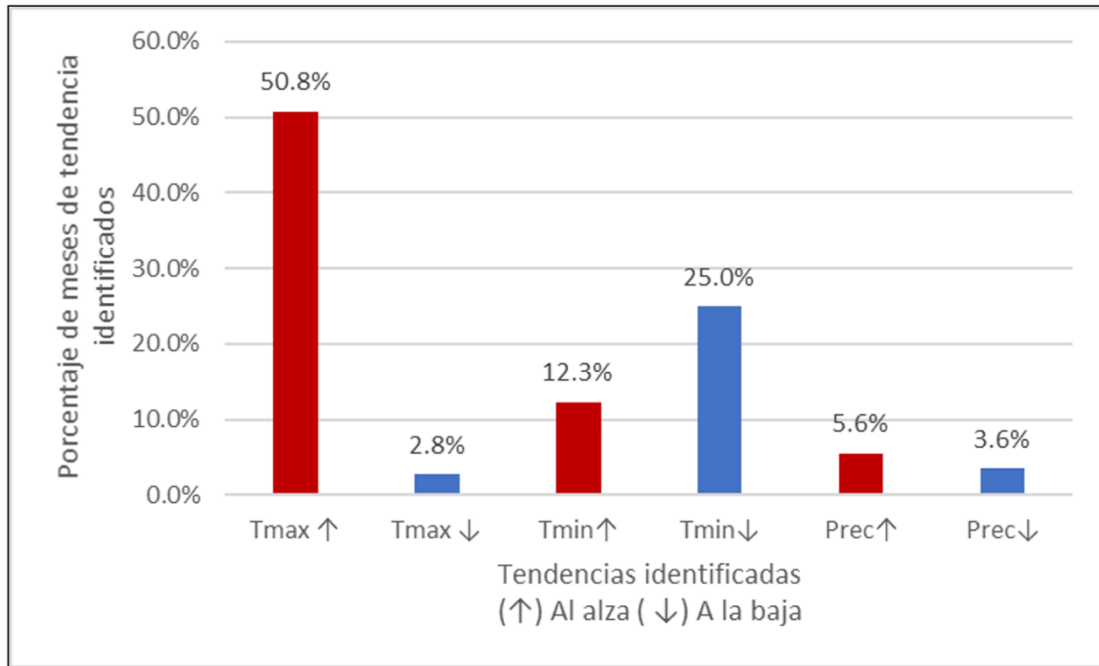


Figura 2. Tendencias de cambio climático identificadas en la RC.
Fuente: Elaboración propia.

La EM 16096 Presa Malpais mostró 22 meses de tendencia al aumento de TMax, mientras que en las EM 16027 Cuitzeo y 16114 San Miguel del Monte fueron seis y cinco meses respectivamente. A su vez, Cuitzeo presentó un mes de precipitación al alza y San Miguel del Monte cuatro meses con reducción.

La Figura 3 muestra las EM y un gradiente de tamaño para visualizar cuatro rangos de clase diferentes que oscilan entre cinco y 11 meses de tendencia identificada de CC, hasta más de 23 meses.

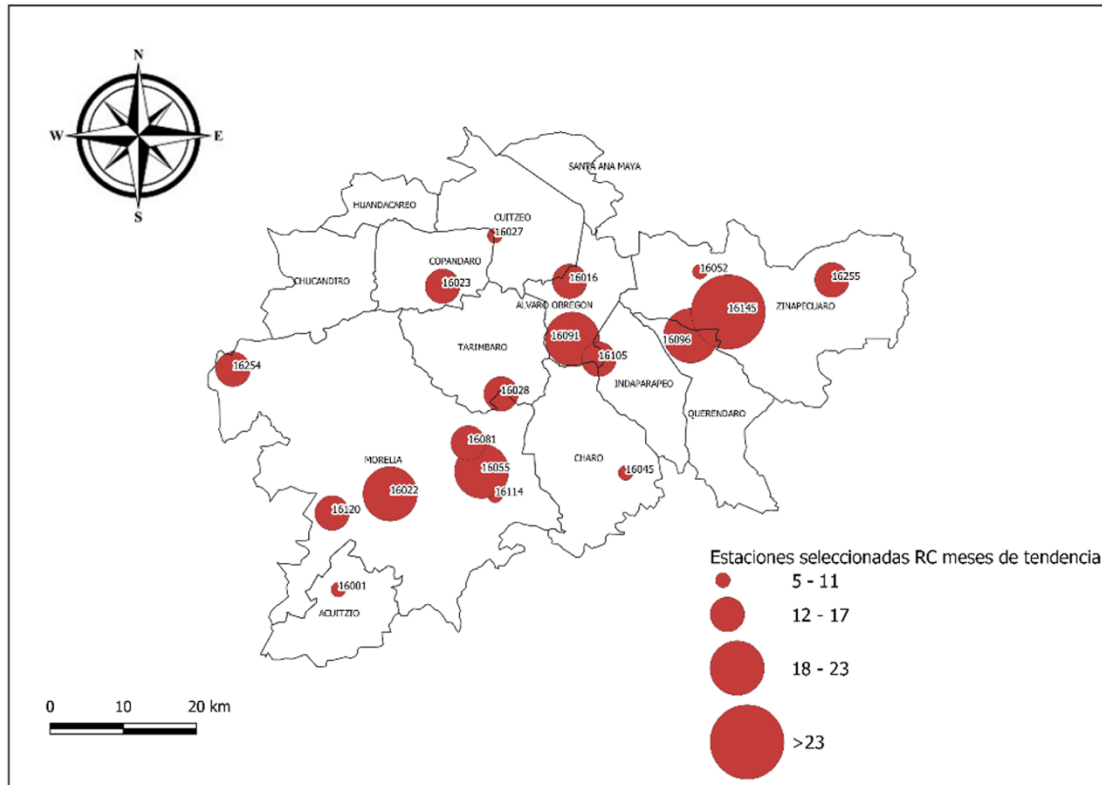


Figura 3. Meses con tendencia de cambio climático en la RC.
Fuente: Elaboración propia.

La señal de CC es una tendencia definida (al alza o a la baja), por lo que es útil georreferenciar los resultados de las tres variables para entender que los cambios son en cierto sentido aleatorios. Posteriormente, los resultados se integran por variable (Tmax, Tmin y Precip.) y se muestran en la Figura 4 mediante un gráfico de tres barras en color rojo para la variable Tmax, azul para la variable Tmin y negro para la variable Precip. Es pertinente aclarar que si estas barras, independientemente de su color, se encuentran por encima de la línea del gráfico, indican tendencias al alza, de lo contrario se trata de tendencias a la baja.

Por lo tanto, si en el gráfico aparece una barra roja, esto indica que en esa estación se detectaron tendencias de Tmax, una barra azul indica que se observaron tendencias en la variable Tmin, y una barra negra señala si hay tendencias en la precipitación.

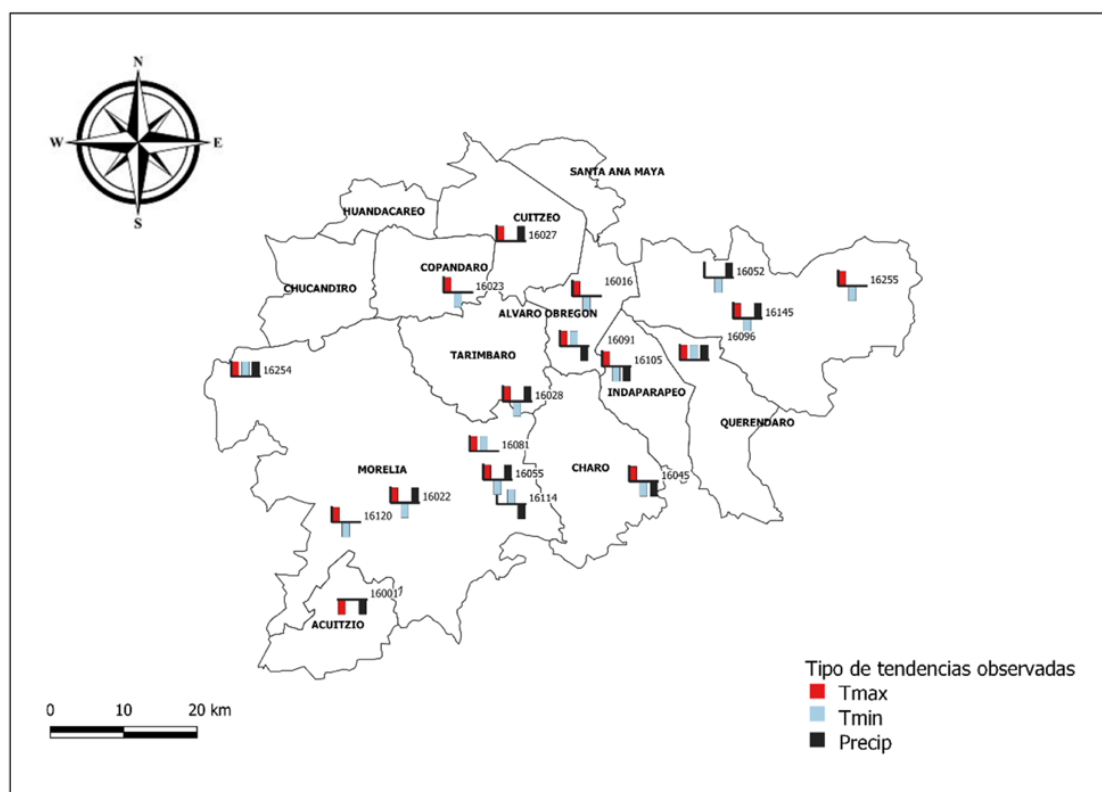


Figura 4. Tipo de tendencias de cambio climático observadas en la RC.
Fuente: Elaboración propia.

La tendencia más común observada en la RC para las temperaturas máximas (Tmax) fue al incremento, exceptuando los municipios de Acuitzio (EM16001), con tendencia de Tmax hacia la reducción. Para Huingo (EM16052) y San Miguel del Monte (EM16114) no se muestra tendencia. Esta evidencia sugiere que la región está experimentando un aumento promedio de la temperatura, lo que podría tener consecuencias en la agricultura y la economía en general.

En cuanto a la temperatura mínima, se detecta de manera general que está disminuyendo, con excepción de cinco de las 18 estaciones: Presa el Malpaís (16096), Morelia (16081), Álvaro Obregón (16091), San Miguel del Monte (16114) y Teremendo (16254), las cuales exhiben incrementos. En contraste, no se detectan tendencias en las EM de Acuitzio (16001) y de Cuitzeo (16027).

En relación con la precipitación, en 13 EM se aprecia tendencia para 23 meses. Las mayores tendencias al incremento de la precipitación fueron: Presa Malpaís (16096) (tres meses) y J. del Monte (16055) (cuatro meses). En cuanto a la tendencia de reducción a la precipitación, fueron: el Temazcal (16045), San Miguel del Monte (16114), Quirio (16105), Álvaro Obregón (16091) y Acuitzio (16001). Sin detección de tendencia fueron: Santiago Undameo (16120), Morelia (16081), Carrillo Puerto (16016), Copandaro (16023) y Ucareo (16255).

Respecto a la vulnerabilidad, los siete sub-índices que componen el IGVAM dan cuenta de la heterogeneidad regional en función de su actividad agrícola, lo cual puede apreciarse en la Tabla 3. En verde se muestra el valor del municipio con la menor vulnerabilidad para cada indicador, mientras que los valores del municipio con la más alta vulnerabilidad para cada indicador se muestran en naranja. Zinapécuaro es el municipio con la menor vulnerabilidad al CC, ya que generalmente presenta valores bajos. Esto le permite resistir mejor los efectos climáticos. Indaparapeo es el municipio más vulnerable (0.7911) debido a factores tales como la repartición de los terrenos agrícolas (superficie muy fraccionada) y a que tiene poca diversificación.

Tabla 3. Índice general de vulnerabilidad agrícola municipal (IGVAM) en la RC.

Municipio	Indicadores de vulnerabilidad							IGVAM
	ISPA (+)	IPC (+)	IDT(+)	ITP (+)	ITA (+)	ITAPA (+)	IDAM (+)	
Acuitzio	0.9960	1.0000	0.0291	0.9286	0.9839	0.5198	1.0000	0.7796
Álvaro Obregón	0.9984	1.0000	0.0567	0.9416	0.9654	0.6379	0.5322	0.7332
Copándaro	0.9923	1.0000	0.0270	0.9752	0.9904	0.5687	0.3565	0.7014
Cuitzeo	0.9941	1.0000	0.0618	0.9912	0.9539	0.6099	0.8748	0.7837
Charo	0.9922	0.7833	0.0217	0.9940	0.9993	0.5982	0.6278	0.7166
Chucándiro	0.9960	0.9792	0.0471	0.9664	0.9889	0.6220	0.6421	0.7488
Huandacareo	0.9979	1.0000	0.0260	0.8141	0.8999	0.6107	0.7393	0.7268
Indaparapeo	0.9986	0.9708	0.0451	0.9812	0.9829	0.6489	0.9100	0.7911
Morelia	0.9683	1.0000	0.0195	0.9913	0.9821	0.5811	0.5947	0.7339
Queréndaro	0.9963	0.9717	0.0348	0.9924	0.9553	0.6834	0.6927	0.7610
Santa Ana Maya	0.9985	1.0000	0.1061	0.9422	0.9592	0.5939	0.8024	0.7717
Tarímbaro	0.9974	0.9977	0.0371	0.9782	0.9728	0.6487	0.4186	0.7215
Zinapécuaro	0.9894	0.9562	0.0188	0.9751	0.9382	0.6231	0.3971	0.6997

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Siacon, 2021) e INEGI (2016).

De acuerdo con los anteriores resultados, el IGVAM se dividió en tres grupos con base en la distribución de valores. Los municipios de Charo, Zinapécuaro y Copándaro están agrupados en un nivel de vulnerabilidad bajo, mientras que otros municipios se aglutinan en niveles medio y alto (Figura 5).

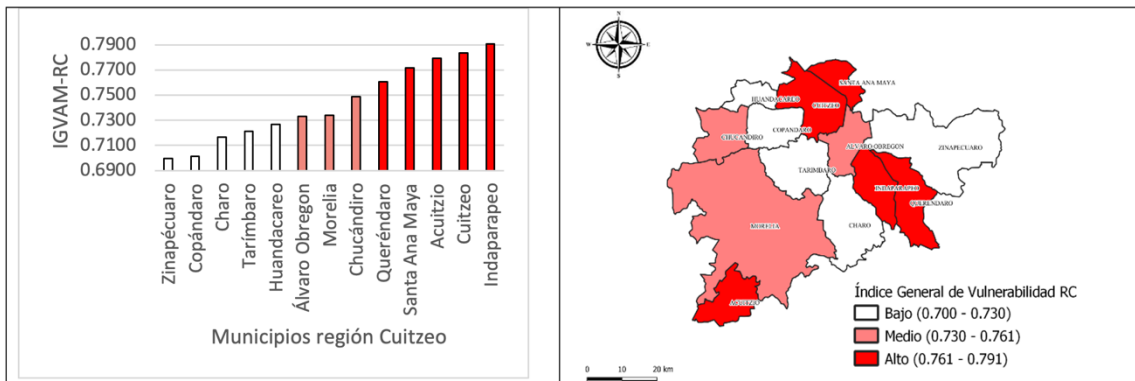


Figura 5. Índice general de vulnerabilidad agrícola municipal en la RC.
Fuente: Elaboración propia con datos de Siacon (2021) e INEGI (2016).

En este sentido, el índice de riesgo agrícola municipal para la RC (IRAM-RC) resulta del producto del IGVAM por la amenaza. Los municipios de Chucándiro, Santa Ana Maya y Huandacareo carecen de datos de CC, ya que sus EM no cuentan con la calidad informativa buscada para esta investigación, razón por la cual se optó por utilizar la información de la EM geográficamente más cercana a estas municipalidades (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de riesgo agrícola municipal en la RC.

Municipio RC	IGVAM	Amenaza en escala 0.0 a 1.0**	IRAM-RC
Huandacareo*	0.7268	0.2727	0.1982
Santa Ana Maya*	0.7717	0.2727	0.2105
Cuitzeo	0.7837	0.2727	0.2137
Charo	0.7166	0.3636	0.2606
Indaparapeo	0.7911	0.5455	0.4315
Copándaro	0.7014	0.6364	0.4463
Chucándiro*	0.7488	0.6364	0.4765
Acuitzio	0.7796	0.3636	0.2835
Zinapécuaro	0.6997	0.6970	0.4877
Morelia	0.7339	0.6061	0.4448
Tarímbaro	0.7215	0.7273	0.5247
Álvaro Obregón	0.7332	0.7500	0.5499
Queréndaro	0.761	1.0000	0.7610

* No disponen de EM, se toma como referencia la más cercana.

** Meses con tendencia, señal acentuada al CC.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2016) y Siacon (2021).

Empleando los datos de la EM (16023) de Copándaro para la municipalidad de Chucándiro, los datos de la EM (16027) de Cuitzeo se emplearon para las municipalidades de Santa Ana Maya y de Huandacareo. Los resultados se agruparon en tres categorías con idéntica holgura para expresar el riesgo en intervalos de bajo (0.1283-0.3392), medio (0.3392-0.5501) y alto (0.5501-0.7610).

De conformidad con la referencia geográfica de los resultados captados, es posible examinar que los municipios ubicados al norte de la RC enfrentan un riesgo menor en su actividad agrícola en función de su capacidad de exposición y adaptación al CC. Es probable que estos municipios se vean menos afectados por el CC porque están menos expuestos a sus efectos. Los municipios del sureste de la zona tienen una situación idéntica, principalmente debido a que la evidencia de señal de CC en las zonas altas es escasa y que conservan buena parte de su cobertura forestal. Queréndaro tiene el nivel de riesgo más alto de la RC debido a la EM Presa Malpaís (16096), localizada en la parte baja del municipio, la cual reporta la mayor cifra de meses (22 meses) de tendencia de CC (Figura 6).

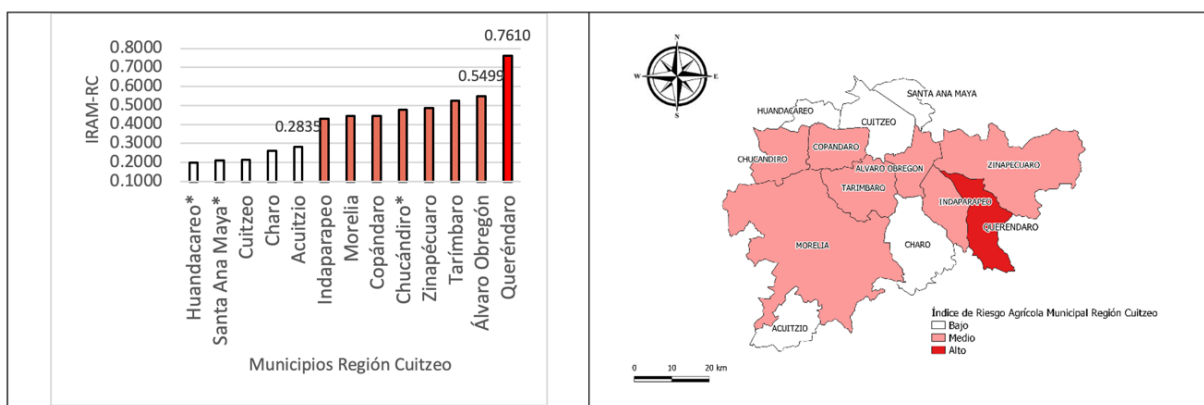


Figura 6. Índice de riesgo agrícola municipal para la RC.
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2016) y Sicaon (2021).

Discusión

La actividad agrícola en la RC tiene relevancia cultural, económica y social porque contribuye con 5% de la riqueza regional, genera 15 mil empleos directos y mantiene diversidad de cultivos. El CC constituye una amenaza para la producción agrícola regional de manutención y de mercado y se suma a otros problemas de deterioro ecológico que producen un impacto en el bienestar de sus habitantes, principalmente del medio rural.

Desde esta perspectiva, este trabajo aporta elementos que comprueban que en la región analizada hay evidencia de CC, entre los que se destaca que este fenómeno se presenta de forma heterogénea y variable, incluyendo temperaturas extremas, todo lo cual permite interpretar como inevitable la aparición de fenómenos meteorológicos más extremos y un mayor riesgo de destrucción de los modos de vida y de los medios de índole económica en esta región.

Respecto a la precipitación, no hay una tendencia clara, los datos de las EM muestran que, en algunos meses, en la parte alta de la RC llueve menos, lo cual lleva a interpretar al CC como uno de los agentes que contribuyen a la reducción de los niveles de captación de agua en importantes cuerpos acuáticos ubicados en esta región, tal como el Lago de Cuitzeo, lo cual tiene el potencial de poner en riesgo el ecosistema en la totalidad del territorio.

En términos de vulnerabilidad, hay poca variación entre municipios, y el hecho de que todas las áreas de la región sean similares entre sí sugiere un alto grado de homogeneidad en el territorio, lo cual en principio puede entenderse como algo positivo. Sin embargo, se tiene también la evidencia de que las mayores desigualdades intermunicipales aparecen en el indicador de la diversificación agrícola, lo que permite deducir que la distribución de los bienes de producción en la RC está desbalanceada; generándose efectos dispares y por tanto negativos sobre el crecimiento a largo plazo, la creación de empleo y la reducción de la desigualdad en este territorio caracterizado históricamente por poseer una vocación productiva orientada a las tareas del sector primario.

Los resultados del análisis de esta investigación concuerdan con los obtenidos por Ortega *et al.* (2018), quienes encontraron que, en la Región Tierra Caliente de Michoacán, las temperaturas máximas se incrementan en la mayor parte del año y las temperaturas mínimas son más extremas. Estos resultados son igualmente consistentes con lo que Hernández & Valdez (2004) estiman para México: un clima más cálido y árido. En este sentido, es pertinente subrayar el municipio de Queréndaro, el cual se destaca por su elevado IGVAM, lo cual es asimismo consistente con lo encontrado por Ortiz-Paniagua *et al.* (2018), que muestran la vulnerabilidad económico-agrícola a escala municipal en el estado de Michoacán, identificando a Queréndaro como uno de los municipios con mayor vulnerabilidad agrícola ante eventos externos que obedecen al cambio global.

La investigación proporciona una herramienta metodológica poderosa y eficaz que permite diagnosticar todas las regiones del país desde la perspectiva de la capacidad de adaptación a escala municipal y de la vulnerabilidad, utilizando actualizaciones periódicas de información, como la del Marco Censal Agropecuario.

Lo anterior se expone en virtud de que en la RC aún no se presentan acciones del gobierno ni de los agricultores para hacer frente al CC, como iniciativas hacia la adaptación. No obstante, los elementos clave en cuanto al desarrollo de capacidades adaptativas al CC son: la percepción del riesgo climático, la confianza y la distancia psicológica, que como se muestra en otro estudio fueron aspectos mucho más efectivos para impulsar los comportamientos de adaptación de los agricultores de Irán (Azadi *et al.*, 2019), lo que sugiere que en la RC deben considerarse este tipo de aspectos para evitar algún desastre o incremento de la pobreza en la región.

Debido a los resultados generados, es urgente la búsqueda de acciones para mitigar el riesgo que implica el CC, lo que a su vez implica el planear y llevar a cabo cambios trascendentales en la lógica de producción y explotación de los bienes naturales en la región. Adicionalmente, estos resultados dan la pauta para, en el marco del CC, profundizar en el estudio y examen de las circunstancias municipales que posibiliten desarrollar las ya mencionadas capacidades de adaptación, las cuales contribuyan a reducir la vulnerabilidad existente de cara al fenómeno climático explorado en la región analizada.

La metodología de aproximación al riesgo resulta pertinente dado que, desde una perspectiva sociológica de los desastres (Rubio, 2012), la vulnerabilidad es una variable imprescindible en la evaluación del riesgo. En consecuencia, el riesgo resulta de valorar la probabilidad de que sucedan fenómenos peligrosos, es decir, lo vulnerable que sean los actores locales y su exposición a las amenazas (Maskrey, 1993).

Al respecto, en la presente investigación se pudo apreciar que el riesgo es mayor para Queréndaro, municipio que, aunque no presenta la mayor vulnerabilidad, sí exhibe la mayor amenaza. En contraste, Tarímbaro presenta baja vulnerabilidad, pero elevada amenaza, lo que lo ubica entre los tres municipios con mayor riesgo; un caso semejante aplica para el municipio de Álvaro Obregón. Respecto a las municipalidades de Huandacareo, Santa Ana Maya y Cuitzeo, se observa una situación diferente, ya que se trata de territorios que muestran una elevada vulnerabilidad, pero bajo riesgo, esto a causa de la presencia de menor amenaza del CC.

Se ha podido apreciar que la vulnerabilidad de los productores es más o menos heterogénea, oscilando los índices IDT, IPC e ITAPA entre 0.69 y 0.79. La capacidad de adaptación es un aspecto fundamental para superar la vulnerabilidad, la cual se debe fortalecer (Tao *et al.*, 2011). No obstante, implica aspectos que deben planearse a largo plazo, lo que puede no ser suficiente debido al avance de los impactos del CC.

Se debe hacer mención de que los indicadores empleados en esta investigación están sujetos tanto a la calidad de los datos como a la velocidad de su actualización y a la vitrina metodológica de obtención de estos. Lo que aportan estos indicadores al conocimiento de la condición regional, desde el punto de vista de su actividad agrícola, es un elemento importante pero insuficiente dado lo complejo del problema. Es por ello recomendable llevar a cabo el trabajo de campo por parte de quienes les compete tomar decisiones en materia de política pública e investigadores especializados en el tema, a efecto de comparar los resultados generados entre lo que teóricamente se espera y lo que empíricamente se observa en otros sectores de la economía.

Los resultados del estudio mostraron que existen tendencias de CC en la RC, por lo que, con fundamento en los mismos, se considera que entre las posibles aplicaciones prácticas de esta investigación se encuentra el proponer medidas adaptativas específicas, como la fluctuación de la producción agrícola municipal, visualizando la autonomía en la producción de alimentos a escala regional. Esto a su vez permitiría implementar decisiones que alienten el fortalecimiento de las capacidades agrícolas, que ya se encuentran en riesgo por el citado fenómeno. Todo esto se traduciría en una mayor capacidad de la región para proveer a sus habitantes de alimentos, particularmente en épocas de dificultad y escasez.

Además de las medidas mencionadas anteriormente, también es importante contar con medidas a nivel regional que permitan mitigar el impacto del CC, como planes de uso de la tierra bien diseñados que se cumplan estrictamente. Esto ayudará a evitar modificaciones en el uso del suelo con fines agroindustriales y urbanos.

Otra consecuencia teórica de esta investigación lo constituye la situación de que, al ser la RC una cuenca hidrológica *per se*, se reparte el agua en las labores domésticas y productivas. Y con la evidencia generada de tendencia a la reducción de la precipitación en diferentes partes de la zona, se hace necesario reformular la administración del vital líquido. Esto implica, en la práctica, el diseño e implementación de un plan hídrico a escala regional que se ocupe de atender la capacidad de carga de los mantos acuíferos en la zona, debido a que, como se aprecia, las zonas de mayor captación de agua de la región son las que presentan tendencias a la reducción de la precipitación (Gómez-Tagle *et al.*, 2015).

Aunque no se observan patrones claros en cuanto a la precipitación, la referencia geográfica de las EM posibilita detectar que en la parte alta de la cuenca de Cuitzeo (El Temazcal [16045], Acuitzio [16001] y San Miguel del Monte [16114]), la precipitación tiende a disminuir en algunos meses, lo que podría estar vinculado a la reducción del nivel del agua en el Lago de Cuitzeo.

No existen variaciones significativas en la vulnerabilidad entre municipios al considerar el área agrícola y la extensión media de los terrenos. Los resultados sugieren que no aparecen variaciones importantes en el área de la región estudiada. En contraste, las mayores diferencias detectadas entre los municipios fueron en términos del indicador de la diversificación agrícola.

Por último, se debe hacer mención de que en la presente investigación se enfatiza la importancia de modernizar el escudriñamiento del clima, expandir el número de EM y establecer un sistema de control de la calidad de los datos, todo ello con la finalidad de que el público y los investigadores puedan utilizar los programas informáticos especializados diseñados para el uso de información, propio de estas temáticas.

Conclusiones

En la RC hay certeza de la señal del CC, y se detectó una magnitud alta de la señal de tendencia en incremento de la temperatura máxima en toda la región. Particularmente, la tendencia superior a 12 meses continuos supera 80% del territorio. A su vez, en 63% de las EM hay aumento prevaleciente de las temperaturas máximas y mínimas.

En las zonas altas de la región se aprecia que las temperaturas mínimas han descendido en 25% de las EM, lo que denota que hay más eventos extremos (heladas). Es posible concluir que la RC del estado de Michoacán, México, vive el fenómeno del CC. La temperatura máxima de 15 de las 18 EM estudiadas parece estar aumentando, a la vez que hay una disminución de las temperaturas mínimas en 11 EM, esto indica una tendencia hacia las temperaturas extremas. Este rasgo es también coincidente con la señal del CC en otras latitudes como se pudo apreciar.

Por otra parte, para la precipitación pluvial se aprecia un patrón con una distribución territorial heterogénea en la región, pero geográfica y espacialmente se aprecia que la zona alta de la región, que es fundamental para la captación y recarga de mantos acuíferos tiene una tendencia a la reducción EM, Acuitzio, San Miguel del Monte y El Temazcal (16001, 16114 y 16045 respectivamente).

De manera preocupante, el municipio de Queréndaro superó los 23 meses de tendencia al incremento de la temperatura máxima, esta situación lo pone como el municipio más amenazado por el CC.

La metodología empleada realiza una propuesta en cuanto a la sistematización y cuantificación del CC como amenaza al diseño de un instrumento que permita conocer la vulnerabilidad agrícola. Con ambos elementos, se construye un índice de riesgo, lo cual, juntamente con su aplicación y su presentación geográfica y espacial, constituyen uno de los aportes del presente artículo.

La metodología empleada también permite conocer la vulnerabilidad agrícola municipal y al representarla espacialmente se aprecia que los municipios que requieren mayor atención se ubican en el Noroeste de la región, que mantienen diagnósticos semejantes en cuanto al comportamiento de sus variables, no así en el caso de Acuitzio, cuya problemática es distinta.

La evidencia mostró un comportamiento espacialmente heterogéneo del CC en la RC. En algunos casos las tendencias van desde los seis meses en Cuitzeo a los 26 meses en Zinapécuaro. Es un hecho que se trata de tendencias, y atenuar este comportamiento requeriría modificaciones fundamentales en la manera de realizar la producción y explotación de los recursos.

En relación con la distribución espacial de la vulnerabilidad agrícola, el comportamiento fue más homogéneo, lo que indica que la diferencia del riesgo es el comportamiento de la amenaza. El IRAM-RC para la región es más alto en Queréndaro, seguido de Álvaro Obregón y Tarímbaro, con elevados valores en la amenaza por el CC y vulnerabilidad relativamente homogénea. Caso contrario sucede con Santa Ana Maya y Acuitzio con alta vulnerabilidad, pero amenaza menor.

Los resultados muestran que los tres índices de vulnerabilidad más elevados (ITP, ITSPA e ITAPA) implican planear a mediano y largo plazo y reducir o superar la vulnerabilidad.

Acorde a lo expuesto, el diseño e implementación de políticas públicas regionales se considera tan importante como la planificación estratégica a nivel de cuenca para la restauración ecológica a largo plazo del Lago de Cuitzeo. Esto se debe a que el Lago de Cuitzeo es el cuerpo de agua más importante de la RC y juega un papel relevante en la regulación de la temperatura y en el apoyo a las actividades productivas de la misma.

Se considera finalmente factible abrir una línea de investigación en términos de la huella del CC en el rendimiento agrícola promedio. Dada la cantidad de factores que intervienen en la productividad agrícola, no existe certeza absoluta de la magnitud con la que interviene el CC. Sin embargo, las proyecciones climáticas de diversos estudios apuntan a un crecimiento del riesgo, situación que se encuentra presente también en este estudio.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Referencias

- Abellán-López, M. A. (2021). El cambio climático: negacionismo, escepticismo y desinformación. *Tabula Rasa*, 37, 283-301. doi: <http://doi.org/10.25058/20112742.n37.13>
- Azadi, Y., Yazdanpanah, M., & Mahmoudi, H. (2019). Understanding smallholder farmers' adaptation behaviors through climate change beliefs, risk perception, trust, and psychological distance: Evidence from wheat growers in Iran. *Journal of Environmental Management*, 250, 109456. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109456>
- Banco Mundial (BM). (2022). *Valor agregado de la agricultura* (Base de Datos). <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=MX>
- Bautista, F., Bautista, D. A., Álvarez, O., & de la Rosa, D. (2011). *Sistema de análisis de datos para el monitoreo regional y local del cambio climático con índices agroclimáticos (MOCLIC)*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/manual_moclic.pdf
- Bautista, F., Pacheco, A., & Bautista-Hernández, D. A. (2016). *Climate change analysis with monthly data (Clic-MD)*. Editorial Skiu. https://www.researchgate.net/publication/301221561_Climate_change_analysis_with_monthly_data_Clic-MD
- Blaikie, P., Cannon, T., David, I., & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres* (1a ed.). Red de estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Catálogo Electrónico de la Legislación de Estado de Michoacán (CELEM). (15 de julio de 2004). *Decreto de Regionalización para la Planeación y Desarrollo del Estado de Michoacán de Ocampo*. <https://celem.michoacan.gob.mx/destino/2004/O211fu.pdf>
- Clapp, J., Newell, P., & Brent, Z. W. (2018). The global political economy of climate change, agriculture and food systems. *The Journal of Peasant Studies*, 45(1), 80-88. doi: <http://doi.org/10.1080/03066150.2017.1381602>

- Donatti, C. I., Harvey, C. A., Martínez-Rodríguez, M. R., Vignola, R., & Rodríguez, C. M. (2019). Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps. *Climate and Development*, 11(3), 264–286. doi: <http://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442796>
- Filini, A. (2013). *La cuenca de Cuitzeo, Michoacán: patrimonio arqueológico y ordenamiento territorial*. En M. T. Sánchez, G. Bocco & J. M. Casado (coords.), *La política de ordenamiento territorial en México, de la teoría a la práctica* (pp. 297-317). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/160/148/815-1>
- García, J. O., & Reyes, M. (2016). La agricultura como alternativa viable para combatir la pobreza alimentaria en el municipio de Morelia, Michoacán. En S. E. Serrano & M. Sosa (coords.), I. Sánchez (Comp.), *El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad* (pp. 01-22). Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C. <http://ru.iiec.unam.mx/3379/1/194-Garcia-Reyes.pdf>
- Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas. *Revista Mexicana de Pediatría*, 70(2), 91-99. <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2003/sp032i.pdf>
- Gómez, J. D., Flores, R., & Monterroso, A. I. (2020). Aptitud actual bajo escenarios de cambio climático para tres cultivos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 777-788. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2463/3235>
- Gómez-Tagle, A., Gómez-Tagle, A. F., Ávila, J. A., & Bruijnzeel, L. A. (2015). Partición de la precipitación en un bosque tropical montano de pino-encino en el centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 505-518. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000300017>
- Gupta, J., Termeer, C., Klostermann, J., Meijerink, S., Van den Brink, M., Jong, P., Nooteboom, S., & Bergsma, E. (2010). The adaptive capacity wheel: a method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society. *Environmental Science & Policy*, 13(6), 459-471. doi: <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.05.006>
- Hernández, C. M. E., & Valdez, M. G. (2004). Impactos, vulnerabilidad y adaptación. En J. Martínez & A. Fernández (comps.), *Cambio climático: una visión desde México* (pp. 315-325). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *Actualización del marco censal agropecuario 2016. Metodología* (Base de Datos). https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825094461.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). *Población rural y urbana* (Base de Datos). http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- Macías, A. (2013). Los pequeños productores agrícolas en México. *Carta Económica Regional*, 25(111-112), 7-18. <https://core.ac.uk/download/pdf/322549479.pdf>
- Maskrey, A. (1993). Vulnerabilidad y mitigación de desastres. En A. Maskrey (ed.), *Los desastres no son naturales* (pp. 93-110). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Monterroso, A., Fernández, A., Trejo, R. I., Conde A. C., Escandón, J., Villers, L., & Gay, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA/#4>
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C., & Bolan, N. S. (2021). Soil salinity under climate change: challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280, 111736. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (1992). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Un.org. <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)-Ediciones Mundi-Prensa. <https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Agricultores familiares alimentan el mundo*. <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/298315/>.

- Ortega, A. M., Ortiz, C. F., & Ortega, P. (2018). Proyección del efecto de cambio climático en la producción agrícola de temporal de la región tierra caliente de Michoacán al 2025. En E. Pérez & V. E. Mota (coords.), *Volumen II. Desarrollo Regional Sustentable y Turismo* (pp. 408 – 427). UNAM/AMECIDER.
<http://ru.iiiec.unam.mx/3791/>
- Ortiz-Paniagua, C. F., Zamora-Torres, A. I., & Bonales-Valencia, J. (2018). Vulnerabilidad económica municipal del impacto agrícola ante condiciones de cambio climático en Michoacán. *Análisis Económico*, 33(82), 73-93.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-66552018000100073&script=sci_arttext
- Ostrom, E., & Ahn, T. (2003). Una perspectiva del capital social desde las ciencias sociales: capital social y acción colectiva. *Revista Mexicana de Sociología*, 65(1), 155-233.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rms/v65n1/v65n1a5.pdf>
- Rubio, I. (2012). Objetivismo, constructivismo y las sociologías del riesgo. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 57(214), 9-24. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/rmcps/issue/view/2657>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader). (2019). *Panorama Agroalimentario 2019* (Base de datos).
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Siacon). (2021). [Base de datos].
https://nube.siap.gob.mx/index.php/s/ol2ukvy4dVX6DOI?utm_source=NUBE
- Statista. (2022). [Base de datos]. <https://es.statista.com/sectores/>
- Tao, S., Xu, Y., Liu, K., Pan, J., & Gou, S. (2011). Research progress in agricultural vulnerability to climate change. *Advances in Climate Change Research*, 2(4), 203-210. doi: <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2011.00203>
- Trade map. (2022). *International Trade Center* (Base de Datos). Trade map. <https://intracen.org/>
- Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., & Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- von Braun, J. (2020). Climate change risks for agriculture and nutrition. En W. K. Al-Delaimy, V. Ramanathan & M. Sánchez (eds.), *Health of people, health of planet and our responsibility* (pp. 135–148). Springer International Publishing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-31125-4>
- Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., Ren, M., & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the Mann-Kendall Test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8. doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014>
- Worldometers. (2022). *Población mundial actual* (Base de Datos). Worldometers.info.
<https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/>
- Yohe, G., & Tol, R. S. J. (2002). Indicators for social and economic coping capacity - moving toward a working definition of adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 12(1), 25–40.
doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00026-7)