

AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN AGUACATERA DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Carlos Francisco Ortiz Paniagua¹

Alba María Ortega Gómez²

RESUMEN

Para la presente investigación se analizaron los registros históricos de temperaturas y precipitación para períodos mayores de 30 años en la región aguacatera de Michoacán. La agricultura de aguacate en Michoacán tiene una importancia significativa, exporta 93% del total nacional y aporta el 4.2% del PIB de Michoacán, esto es la tercera parte del valor de la agricultura estatal. No obstante, la especialización plantea riesgos socioeconómicos y los fenómenos meteorológicos extremos representan una amenaza latente. Con ayuda del software *LARS-GW* se realizaron proyecciones climáticas partiendo de los escenarios A1B y A2; para el período 2025-2075. Los resultados muestran que los municipios de Uruapan y Madero son los más vulnerables a los efectos del cambio climático, debido a que presentan el valor más alto del índice de vulnerabilidad total climática (IVT_{clim}).

Palabras clave: Cambio Climático, Vulnerabilidad Agrícola, Franja Aguacatera, Escenarios Climáticos.

¹ Doctor en Ciencias del Desarrollo Regional Profesor Investigador de Tiempo Completo del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Email: cfortiz@umich.mx.

² Maestra en Conservación y Manejo de Recursos Naturales Estudiante del programa PNPC de Ciencias del Desarrollo Regional del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales. Email: albaortegag@gmail.com. Se agradece al Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación (CECTI) del Gobierno del Estado de Michoacán por su apoyo a la presente investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

México es un país altamente vulnerable ante los efectos del cambio climático, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), (2007). La agricultura es una actividad que tiene una dependencia importante del clima, por lo que las actividades vinculadas también pueden ser impactadas ¿Qué tanto impacta a la economía municipal y regional un colapso en la producción agrícola? Mediante la integración de índices socioeconómicos y de información sobre variabilidad climática se pretende presentar una radiografía de la vulnerabilidad de la franja aguacatera combinando los aspectos de los productores agrícolas, con aspectos socioeconómicos municipales y escenarios de cambio climático regionales.

CONCLUSIONES

Si bien las distintas perspectivas teóricas del cambio climático no han llegado a un acuerdo respecto las causas del cambio climático, ambas posturas coinciden en que el clima atraviesa por una variabilidad a escala global y cuyas consecuencias pueden repercutir en los distintos aspectos de la vida en el planeta.

La pregunta planteada como eje de la investigación se responde destacando los municipios que tendrían un mayor impacto económico a partir de un colapso agrícola derivado del cambio climático.

Si solamente se toma el Índice de Vulnerabilidad Total; que combina la importancia económica de la agricultura y los aspectos sociales, el municipio de Tancítaro se muestra como el más vulnerable de la región aguacatera. Los valores de cambio del “pixel” al cual corresponde muestran una variación de temperatura por encima de los tres grados, a la vez que la tendencia de precipitación en los últimos 30 años ha sido negativa. Es importante, tomar precauciones

para reducir la vulnerabilidad de este municipio ante los posibles efectos del cambio climático en el cultivo de aguacate. No obstante cuando se incorporan las tendencias del clima, (precipitación y temperatura), los municipios más vulnerables de la región son: Uruapan y Madero.

Los efectos del cambio climático partiendo de los escenarios propuestos por el PICC pueden impactar en la región aguacatera, según muestran los resultados de los escenarios a 2075 y las tendencias en la precipitación. Lo anterior combinado con una economía especializada como la región de estudio plantea retos importantes, que al momento no se han contemplado como “riesgos latentes” por parte de los productores o de las autoridades.

La metodología empleada sugiere que la variabilidad climática debe ser contemplada para tomar medidas de mitigación o adaptación de impactos en la agricultura, principalmente la de aguacate, por su importancia económica. Vale la pena destacar que la combinación de elementos estadísticos y técnicos para la medición de la vulnerabilidad constituyen una propuesta innovadora en su campo. Debido a que otros trabajos que han abordado la temática al respecto, muestran diferentes formas de tratamiento del objeto de estudio. La metodología implementada ha combinado variables económicas, sociales, agrícolas y climatológicas, lo que constituye un aporte del presente estudio.

No obstante los resultados muestran la vulnerabilidad socio-económica, de los productores agrícolas ante los escenarios de variabilidad climática; una de las líneas de investigación que se desprenden apunta al estudio de la resiliencia del cultivo ante un incremento de 3 grados promedio de temperatura y una reducción superior al 10% en la precipitación.

Las implicaciones de la variabilidad climática en la región pueden tener consecuencias e impactos significativos para la producción y con ello la economía y estándar de vida regionales.

INTRODUCCIÓN

En la medida que se espera que la población mundial alcance la cifra de 9.1 billones para el 2050, la agricultura requiere seguir incrementando su productividad (rendimiento por hectárea) para satisfacer la creciente demanda. Bajo este contexto, el cambio climático representa un reto importante debido a que: 1) 75% de las poblaciones que viven en áreas rurales del planeta dependen de la agricultura, la forestería y la pesca (Torres *et. al.*, 2011), según la CEPAL-FAO (2013), son 500 millones de agricultores familiares tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, son altamente vulnerables a lo que ocurra con este sector y la reducción del rendimiento agrícola ocasionada por sequías, inundaciones ó heladas, pone en riesgo el abastecimiento de la creciente demanda a la vez que tiene implicaciones en los precios y su correspondiente efectos sobre la inflación y pérdida de poder adquisitivo.

Las implicaciones del cambio climático se pueden analizar por separado, en el caso del presente se enfoca en el sector agrícola en una región particular. La importancia de la agricultura reside al menos en dos aspectos: 1) provee a las poblaciones humanas de alimentos, materias primas, medicinas y otros productos bienes económicos; y 2) provee de servicios eco-sistémicos, como: cultura y tradiciones en relación a la actividad agrícola, biodiversidad, formación de suelo, regulación de los ciclos hídricos, secuestro de carbono, entre otros. En otros aspectos, las implicaciones del cambio climático en la agricultura apuntan a un cambio en la distribución de la vegetación influye directamente en la producción de los cultivos. Los efectos indirectos consistirían en un posible agravamiento de las enfermedades, las plagas o las malas hierbas, cuyos efectos no están todavía cuantificados en la mayoría de los estudios realizados. En algunos casos los cultivos se aproximan a su nivel máximo de tolerancia de

temperatura y en donde predomina la agricultura de temporal es probable que disminuya el rendimiento. Podría resultar también afectada la subsistencia de poblaciones que viven de la agricultura y del pastoreo, que constituyen una gran parte de la población rural en algunas regiones. Todo esto se traduce en que la afectación del cambio climático en la agricultura se debe a que las variaciones de los niveles de temperatura o de precipitación se aproximen o excedan los límites de tolerancia de dichos cultivos (Conde *et. al.*, 2004).

Los productores agrícolas se enfrentan ante el reto de ser competitivos en el ámbito comercial y productivo, a las amenazas e incertidumbre del comportamiento del mercado, se suman los factores hidro-meteorológicos. Por lo que los efectos del cambio climático constituye un elemento más para superar, al respecto ¿cuáles son las capacidades competitivas de los productores agrícolas que les permiten una mejor adaptación a los efectos y amenazas externas, como el cambio climático? Esta pregunta, constituye el eje conductor de la investigación presentada, por lo que se intentará contestarla para el caso de Michoacán, México. Teniendo como objetivo construir una metodología para conocer las capacidades competitivas de los productores agrícolas a escala municipal, en otras palabras cuantificar el grado de avance competitivo que tienen los productores agrícolas de Michoacán, a escala municipal, para lo cual se emplearán seis variables y 21 indicadores que ayuden a identificar dichas capacidades competitivas.

El documento se integra de cinco apartados, en el primero se abordan los elementos teóricos sobre cambio climático y competitividad, en el segundo apartado se presentan algunos estudios antecedentes sobre la agricultura y el cambio climático. Para el tercer apartado se expone la metodología y técnicas empleadas, en el cuarto apartado se exponen los resultados, por último la quinta sección muestra las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

I. POSTURAS TEÓRICAS EN CAMBIO CLIMÁTICO, PICC VS ESCÉPTICOS

Luego de que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC) publicara evidencia científica y modelos de previsión de comportamiento del clima, los escenarios fueron catalogados desde graves hasta catastróficos. Desde la interpretación del PICC, el cambio climático (CC) obedece en esencia a causas antrópicas. Un grupo de científicos denominados “escépticos” ponen estos en entre dicho y refutan dicha evidencia. El presente apartado abordará estos aspectos y las principales conclusiones a las que se ha llegado en la materia.

El cambio climático se define 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 periodos de tiempo comparables (ONU, 1992:6). En esta convención se mantiene el “acuerdo” de que el cambio climático se atribuye a las actividades humanas. La implicación práctica conlleva a que se definan una serie de acuerdos para que los países participantes apliquen medidas de política que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, así como otras acciones que se supone inhibirían la producción de dichos gases.

Aunque la presencia de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera guarde una relación con el incremento de la temperatura, no necesariamente obedece a estos; o bien, no sólo a estos. La variabilidad climática ha sido una constante en el planeta, de manera que los cambios de clima son parte de la normalidad del clima. Al respecto han sido documentadas las variaciones climáticas por largos períodos de tiempo. Los elementos que naturalmente ocasionan este fenómeno son: cambio en la irradiancia o radiación solar, erupciones volcánicas, variaciones en la vegetación, tormentas solares, corrientes oceánicas, variaciones orbitales, erupciones volcánicas, entre otros (Montoya, 2012).

Para quienes el cambio climático no es ocasionado por la actividad humana y la acumulación de gases que reciclan la radiación solar en contraposición a la visión del PICC, se aprecian tres elementos de evidencia. 1) El cambio climático siempre ha existido y no se relaciona con el CO₂, cuya presencia en la atmósfera es ínfima, para incidir en la absorción de energía solar. Se da una importancia mínima del CO₂ en la atmósfera. Exponen que el porcentaje de CO₂ en la atmósfera de la Tierra es solo del 0.054%, fracción increíblemente pequeña y que además, hay que extraer sólo la parte que el ser humano está aportando que es aún más pequeña; resultando insignificante las emisiones de la acción humana (Ponce y Cantú, 2012). 2) La temperatura global del planeta disminuyó de 1940 a 1980 en promedio, situación que no obedeció a la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. 3) Los modelos de reconstrucción del clima muestran una recurrencia a las variaciones climáticas en comparación con otras épocas, actualmente no se ha alcanzado temperaturas mayores a las del siglo XIV (Jones, 2009).

Destacando algunos puntos importantes de la discusión teórica sobre el cambio climático. Se presenta una convergencia al menos en lo siguiente: a) el cambio climático es una amenaza real y la evidencia señala que el clima efectivamente está cambiando; b) aún hay incertidumbre sobre la celeridad, extensión e incluso sobre la dirección de las alteraciones climáticas, ya que hay evidencias de que sus marcas físicas y económicas en el mundo, se hallan distribuidas desigualmente (Ponce y Cantú, 2012).

I.1. Cambio climático: escenarios e implicaciones desde la perspectiva del PICC

Entre 1990 y 1992, el IPCC desarrolló escenarios de emisiones de GEI a largo plazo, codificados como IS92, en los cuales se incorporan variables socio-económicas. En la actualidad, estos escenarios IS92 han sido sustituidos por los publicados por el PICC en 2000, denominados paquete SRES (*Special Reduction Emissions Scenarios*). Este paquete apoya en

la modelación de emisiones futuras de GEI con base a supuestos sobre los comportamientos probables de las variables económicas, sociales, políticas, energéticas y tecnológicas.

Los escenarios de emisiones propuestos por (PICC) parten de cuatro diferentes estilos posibles de desarrollo socioeconómico global, en función del tipo de políticas que se implementen. Dichos escenarios se codifican como: A1, A2, B1 y B2; de los cuales a la vez se desprenden opciones y combinaciones particulares de escenarios posibles. Dichos escenarios describen las relaciones entre las principales fuerzas demográficas, económicas, energéticas y tecnológicas; así como su implementación local, regional ó global simulan las emisiones futuras de GEI.

Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras; están basados en las condiciones climáticas observadas (generalmente durante un periodo de treinta años; actualmente se emplea el periodo 1961-1990) denominadas “escenario base” (IPCC, 2000). Existen cuatro líneas evolutivas de los escenarios de cambio climático (A1, A2, B1 y B2), las cuales representan un cambio demográfico, social, económico, tecnológico y medioambiental, en la presente investigación se trabajó con los escenarios A2 y A1B (balanceado).

Para mencionar un ejemplo del funcionamiento de los escenarios descritos por el PICC, (2007), los escenarios A1 suponen un planeta futuro de crecimiento económico acelerado, una población mundial que llega a su máximo a mediados del siglo XXI para estabilizarse e iniciar un declive. Contempla también una rápida introducción de tecnologías con mejoras en eficiencia. Por otra parte, los escenarios B1, describen un planeta convergente con población mundial que llega a su máximo a mediados del siglo XXI y luego decrece de manera análoga al escenario A1. Considera un cambio rápido en la estructura económica hacia una de servicios y

economía de la información, con reducciones en la intensidad del material y la introducción de tecnologías limpias y uso eficiente de recursos. El énfasis es en soluciones globales a la economía, sustentabilidad ambiental y social, incluyendo equidad, pero sin iniciativas climáticas adicionales.

Las implicaciones del CC para el bienestar humano van desde las económicas, hasta las de salud y alteración de ecosistemas. La toma de decisiones que pudieran provocar un cambio favorable tiene su base en las políticas públicas las cuales procuran revertir, menguar, mitigar y lograr una adaptación al C.C. con el fin máximo de lograr la sustentabilidad y, con ello, lograr un futuro menos adverso.

Las implicaciones del CC, tanto en el sistema ecológico como en el sistema humano, se estima que tendría consecuencias irreversibles e incluso catastróficas, que van desde la pérdida de biodiversidad, de infraestructura, de vidas humanas y destrucción de capital. Situación que marcaría un retroceso del desarrollo socio-económico alcanzado actualmente por la humanidad, al mismo tiempo que amenaza la seguridad alimentaria. Lo anterior lleva consigo la consigna de la previsión y el trabajo local, para prevenir desastres desde cualquiera que sea la postura sobre el cambio climático, los fenómenos hidrometeorológicos y el clima tienen alcance global, ante un planeta cada vez más habitado y con sociedades que tienen cada vez más proclividad al riesgo (Beck, 1998). Que obedece a la creciente interdependencia financiera, económica, ambiental y cultural que ha alcanzado nuestra sociedad en la actualidad. Desde las perspectiva del CC, uno de los sectores amenazados es la agricultura, situación que pone de manifiesto la revisión de riesgos, vulnerabilidades y amenazas, situación que a escala local presenta retos importantes, que en principio de cuentas se requiere de conocerlos.

Para abordar la temática del CC desde esta perspectiva, uno de los objetivos de este trabajo es proyectar escenarios de temperatura máxima, mínima y precipitación bajo cambio climático en la región aguacatera, utilizando un escalamiento de tipo estadístico, para ello se empleó el Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico *Long Ashton Research Station Weather Generator* (GETM LARS WG, por sus siglas en inglés), el cual genera datos diarios de tiempo de un sitio particular con las mismas características estadísticas de la serie real de la estación, datos que van desde meses, hasta series de cien años, lo cual asegura estabilidad a las estadísticas y a los resultados (Semenov y Barrow, 2002).

II. ANTECEDENTES DE LAS IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

Algunos estudios que han analizado la vulnerabilidad agrícola como, Magrin *et al.* (2009), emplean los escenarios A2 y B2 propuestos por el PICC y por medio del modelo regional del CIMA para el 2080, en la Región Paperiana Argentina. Encontraron que para el escenario A2 se alcanzaría una reducción promedio del rendimiento de 4% en trigo, 9% en maíz y 14% en soja. En tanto que para el escenario B2 la reducción media sería trigo (3%) y maíz (6%), y en soja se incrementos del 3%. En América Latina estudios sobre el impacto del cambio climático en el sector agrícola en El Salvador y en Costa Rica. En el primer país encontraron una alta vulnerabilidad a los efectos climáticos, evidencia de ello es el aumento en número e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos que han culminado en desastres en los últimos años. A futuro se espera que éstos se intensifiquen dichos fenómenos, a la vez que aumente la temperatura promedio disminuya la precipitación pluvial. Hacia el año 2100 proyectan que en la región el clima aumentará entre 2°C y 5°C y que la precipitación disminuirá entre 18% y 40% (Ordaz *et al.* 2009).

Para Costa Rica los cambios en la producción agrícola y las ganancias económicas serían afectadas. Los impactos económicos del cambio climático sobre la producción agropecuaria en relación al PIB de 2007, se estiman perdidas entre 1% y 2% del PIB hacia 2050, a una tasa de descuento de 4%. En tanto que lo referente al sector turístico en sus modelos encontraron que el incremento en la temperatura reducirá la demanda de alquiler, alcanzando una disminución del 1,2% en los ingresos que provienen del alquiler de la propiedad, (Ordaz *op cit*).

En México se destacan algunos estudios sobre el impacto del cambio climático en el sector agrícola a escala nacional y local como Flores *et al.*, 1995; Ferrer *et al.*, 1995; Conde *et al.*, 2006; Gay, 2000. Se resalta 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, especialmente las superficies de temporal y su relación con los cultivos alimentarios y de autoconsumo. Se desprende que la agricultura es uno de los rubros más vulnerables a los posibles cambios en el clima de las diferentes localidades, así como por los posibles desastres hidrometeorológicos que pudieran llegar a impactar a los mismos (Conde *et al.*, 2004).

Tinoco *et al.*, (2011), realizaron un estudio sobre el efecto del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco. Empleando dos modelos de cambio climático para el periodo 2041-2060, bajo el escenario A2. Los resultados mostraron un incremento en la superficie no apta para el cultivo del maíz en 63.6% para el modelo de cambio climático GFDL y en 90.8% para el modelo Hadley. Las regiones Centro, Norte y Este de Jalisco son las que registran los cambios de mayor magnitud. La disponibilidad de humedad en el suelo es el factor que se ubica como el componente limitante para el desarrollo del cultivo de maíz.

Posteriormente Granados y Sarabia (2013), realizaron un estudio en un Distrito de Desarrollo Rural de Toluca, Estado de México para analizar las posibles alteraciones que puede traer el cambio climático en la producción de maíz de temporal. Se aplicó el modelo de Cambio Climático Hadley, de los escenarios de emisiones A2 y B2 para el 2050. Los resultados obtenidos mostraron que las variables temperatura y precipitación tendrán desenlaces negativos en el desarrollo fenológico de maíz. Se afectará la floración que tendría implicaciones directas en reducción 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, en algunos casos se escenifica una disminución de 40%; sin embargo, es de esperarse que existan regiones donde la precipitación aumente.

La agricultura en México es una actividad primordial, y en especial en estados como Michoacán, su importancia económica y social se encuentra en el peso que tiene dentro del PIB nacional y estatal, así como por el número de empleos y población dependiente de esta actividad primaria. Galindo, 2008 utiliza tres modelos para determinar los impactos del cambio climático en la agricultura, siendo estos modelos: función de producción, un modelo de tipo “ricardiano”; los modelos concuerdan en la existencia de impactos en la agricultura ante el cambio climático aunque difieren sobre su magnitud, tales como: a) el aumento del CO₂ tiene un impacto positivo significativo sobre la producción y el rendimiento del sector agropecuario al menos dentro de ciertos rangos, b) un aumento de la temperatura tiene un impacto inicial positivo en la producción y en los rendimientos, c) en la mayoría de los resultados empíricos se observa que los cambios en la temperatura son más importantes que aquellos asociados a la lluvia y d) los impactos específicos son fuertemente dependientes de los agro-climas, del tipo de suelo y de la sensibilidad al CO₂ lo que incluye un nivel de incertidumbre adicional a las proyecciones.

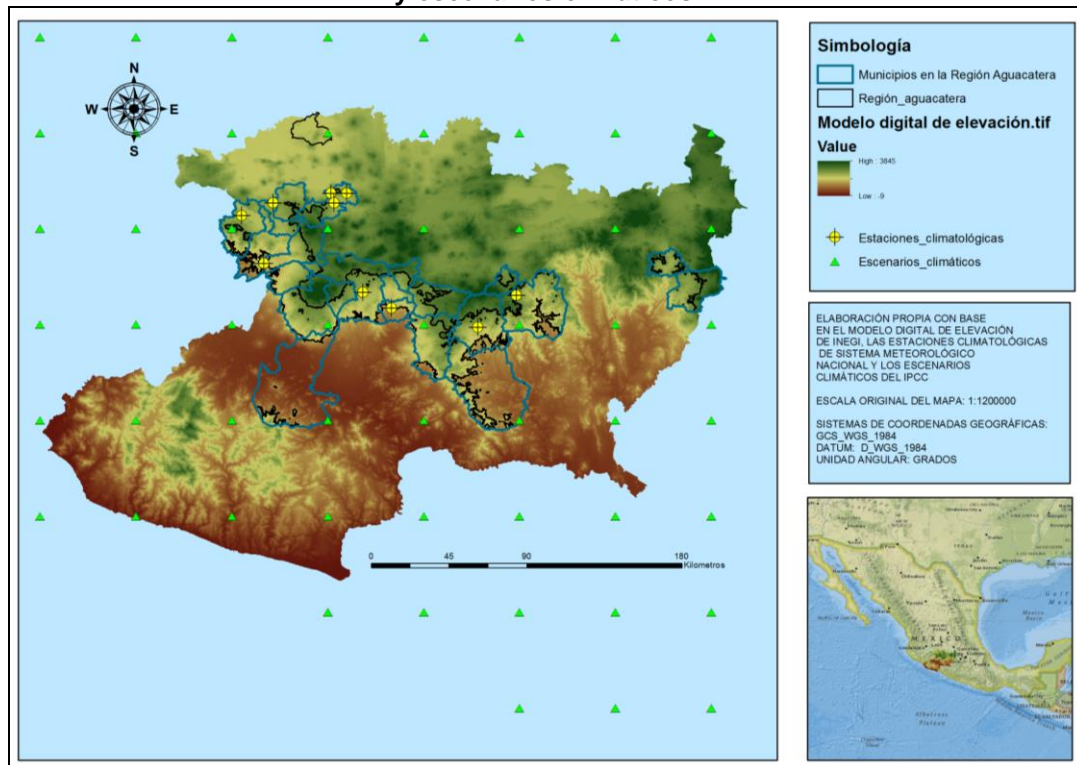
En síntesis, se prevén efectos diferenciados y divergentes, en relación a los patrones esperados de temperatura y precipitación, los cuáles, en ciertos rangos pueden incrementar el rendimiento de los cultivos de temporal, sin embargo, la incertidumbre y el riesgo de salirse de esos rangos en los patrones, traería consigo una importante reducción de los rendimientos agrícolas.

III. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA REGIÓN AGUACATERA

Con base en la caracterización de la franja aguacatera por Gutierrez (2010), los municipios que integran la región aguacatera son: Acuitzio, Apatzingán, Ario, Cotija, Madero, Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Los Reyes, Salvador Escalante, Tacámbaro, Tancítaro, Tangamandapio, Tangancícuaro, Taretan, Tingambato, Tingüindín, Tocumbo, Turicato, Tuxpan, Uruapan, Ziracuaretiro y Zitácuaro, mismos que se pueden apreciar en la figura 1.

El cultivo de aguacate ha sido ampliamente favorecido por los mercados internacionales para su venta y distribución. Se encuentra un creciente mejoramiento de las ventajas competitivas del aguacate en las últimas décadas (Torres, 2006). A la vez que la logística, distribución y sobre todo mercadotecnia han sido elementos clave para el incremento de las ventas de aguacate en los últimos años, como lo demuestra (Carman, 2009). Situación que incluso se relaciona de manera directa con el consumo de aguacate por habitante, principalmente en Estados Unidos y La Unión Europea (Centeno, 2005).

Figura 1. Ubicación geográfica de la región aguacatera, las estaciones climatológicas y escenarios climáticos.



Fuente: Elaboración propia, se tomó la franja aguacatera como la región en base a la propuesta de Gutiérrez *et al.*(2010).

El productor más importante de aguacate en México es el estado de Michoacán, que suministra más de 80% de la producción nacional y más de 90% de las exportaciones. La competitividad del mismo estudiado por Bonales (2003), ha tenido su fundamento en las redes de distribución, la calidad del producto, los rendimientos y el precio del mismo en el mercado. A la vez que el mejoramiento de los procesos de producción, distribución y calidad del fruto han sido parte de las etapas que atravesarían los productores, quienes han sido “forzados” a ello, al ingresar al mercado internacional, sin olvidar el papel del estado como promotor de esto en un inicio, como lo demuestra Stanford (2002).

Algunos de los elementos de importancia fundamental para el crecimiento de la producción de aguacate se relacionan directamente con la apertura comercial gradual de los Estados Unidos y

México, que culminó su proceso en 2004. Actualmente se aprecia un incentivo de ganancia que ha atraído a inversionistas del sector ampliando las fronteras de producción agrícola.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Aspectos meteorológicos

Antes de proceder con cualquier análisis de datos, es de suma importancia garantizar que los datos posean un adecuado control de calidad y que las series de tiempo de las estaciones a analizar estén homogeneizadas (Muñoz y Torres, 2013). Se aplicó la siguiente técnica para el control de calidad de los datos de las estaciones climatológicas: primero se revisaron las serie completas de datos, de tal manera que no tuviera datos anómalos como valores de temperatura inconsistente, por ejemplo temperatura máxima menor que la temperatura mínima o valores de precipitación menores que cero. Posteriormente se establecieron una serie de pruebas de tolerancia diseñadas para detectar valores atípicos tras definir límites climatológicos en la serie de tiempo analizada y, finalmente, se verificó el comportamiento de las estaciones que corresponden a una misma zona geográfica. Para el cálculo de los índices de cambio climático sólo se utilizaron las series de datos que resultaron razonablemente homogéneas y de calidad. Las series con discontinuidades evaluadas como no homogéneas fueron descartadas.

3.1.2. RHTest V4

El grupo de expertos en índices y detección del cambio climático (ETCCDI por sus siglas en inglés) formuló el software RHtest V4 de la plataforma de R para homogeneizar datos. El software R incluye un lenguaje de programación y un ambiente de desarrollo para el uso de la estadística y creación de graficas. R funciona en múltiples sistemas operativos como MS Windows, Linux y Macintosh; permite realizar un diagnóstico de homogeneidad de los datos de manera accesible con base en pruebas estadísticas específicas (Wang *et al.* 2007).

La selección de las estaciones meteorológicas se realizó con base en la prueba de homogeneidad incluida en el software RHtest V4, seleccionando aquellas estaciones de la región aguacatera que cumplieran con el control de calidad de los datos antes mencionado y además que contaran con el mayor número de observaciones diarias disponibles y la disponibilidad de datos durante un periodo común para todas las estaciones (1960-1990). Estos criterios resultaron en la selección de 10 estaciones meteorológicas del área de estudio. La distribución espacial de las estaciones seleccionadas cubre la mayor parte del área de interés, se localizan en los municipios de Cotija, Los Reyes, Madero, Tacámbaro, Taretan, Tinguindín, Tangancícuaro y Uruapan (figura 1).

Una vez realizado el control de calidad de las estaciones, y conservando el mismo formato estándar de escritura de los datos de modo que sea posible introducirlos en el siguiente paquete, se procedió a proyectar la temperatura (máxima y mínima) tomando como referencia los escenarios de emisiones A2 y A1B para los horizontes de tiempo 2025, 2050 y 2075 con apoyo del software LARS-GW (Semenov y Barrow, 2002).

3.1.3. LARS-GW versión 4.0

LARS-WG es un generador estocástico de tiempo meteorológico que se utiliza para generar escenarios de cambio climático, proyecta el clima diario a baja escala basado en 15 modelos de predicción (IPCC-AR4) (Meehl *et al.*, 2007). LARS-WG se basa en una aproximación de series de datos observados y puede ser empleado para la simulación de datos meteorológicos en un sitio bajo condiciones de clima presente y futuro (escenario). Los datos se presentan en forma de series diarias de un conjunto de variables meteorológicas: precipitación (mm) y temperatura máxima y mínima (°C). En México se ha utilizado en Los Programas Estatales de Acción contra el Cambio Climático (PEACC) en los estados de Morelos, Hidalgo, Michoacán, Chiapas y San Luis Potosí entre otros.

LARS-WG, estima la Función de Densidad de Probabilidad (PDF por sus siglas en inglés) en una estación meteorológica, permitiendo así analizar cambios en temperatura y precipitación. En la condición media del clima y su variabilidad pueden hacer que los incrementos en temperatura o en precipitación extremas (outlayers colas en la distribución normal de la PDF) sean mayores que los proyectados para la mediana. Es por esto que el cambio climático podría ser más rápidamente identificable a través de eventos extremos (Magaña, 2010).

Es preciso señalar que LARS no es una herramienta predictiva que pueda ser empleado en el pronóstico del tiempo, sino que se utiliza para generar series sintéticas de tiempo meteorológica estadísticamente idénticas a las observaciones históricas que puede ser útil para la toma de decisiones en políticas públicas.

Para el procesamiento en LARS-WG y verificar la variabilidad climática en los escenarios seleccionados se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Los valores extremos en las fechas indicadas, para un período de 30 años, cruzando información con estaciones meteorológicas cercanas a la región y notas periodísticas para validar los datos extremos (outliers).
- Los datos faltantes fueron codificados (-99.9) para evitar que LARS los reconociera como cero y los incorporara en los promedios.
- Se verificó que los datos fueran razonables.

La base de datos empleada en la presente investigación es la que proporcionan la Comisión Nacional del Agua. Se identificaron los escenarios climáticos más cercanos a las estaciones climatológicas en los pixeles correspondientes a la región (X y Y), partiendo de la propuesta de escenarios climáticos del PICC (tabla 1).

Tabla 1. Escenarios climáticos seleccionado para las proyecciones de LARS-WG

No.	Id_Estación	Nombre	Municipio	Escenarios climáticos	
				X	Y
1	16140	V. Madero (CFE)	Madero	-101.25	19.25
2	16123	Tacámbaro	Tacámbaro	-101.25	19.25
3	16127	Taretan (CFE)	Taretan	-101.75	19.25
4	16073	Los Limones (CFE)	Los Reyes	-102.75	19.75
5	16043	El Puerto	Cotija	-102.75	19.75
6	16106	San Ángel	Tinguindín	-102.75	19.75
7	16125	Tangancícuaro	Tangancícuaro	-102.25	19.75
8	16014	Camécuaro			
9	16137	Urepetiro			
10	16165	Uruapan (CFE)	Uruapan	-100.25	19.25

Al finalizar el análisis de LARS, se obtuvieron seis escenarios climáticos para cada estación estudiada; tres bajo el escenario A2, el cual describe un planeta muy heterogéneo; la población mundial se mantiene en continuo crecimiento. El crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios posibles. Sería casi una proyección lineal del actual comportamiento de la actividad humana; además se obtuvieron tres escenarios climáticos para el escenario A1B caracterizado por tener prioridad económica global, convergencia económica global, emisiones media alta y rápido crecimiento económico, tecnologías eficientes, se tiene balance entre energías fósiles y no fósiles. Ambos escenarios se proyectaron bajo los horizontes de tiempo 2025, 2050 y 2075.

Los archivos B25WG.st, B50WG.st, B25WG.st, C25WG.st, C50WG.st y C75WG.st de cada estación climatológica fueron analizados por parámetros. Para la temperatura mínima y máxima se obtuvieron las siguiente cuantificaciones: temperatura máxima, percentil 95, percentil 75, mediana, percentil 25, percentil 05 y temperatura mínima. Finalmente se elaboró una tabla con los valores de cambio climático y los diagramas de caja, también llamados "box plots"

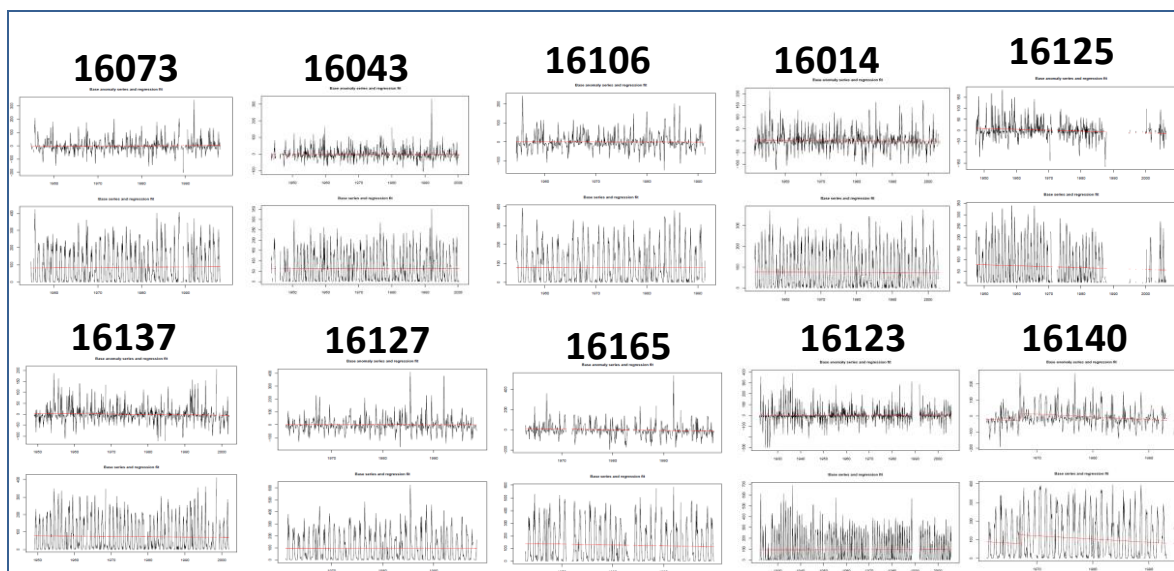
Los diagramas de caja permiten visualizar los datos en su conjunto; este tipo de diagramas están basados en cuartiles, y es compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos; suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles 1, el cuartil 2 o mediana y el cuartil 3, y sobre la existencia de valores atípicos y extremos. El cuartil 1 es el valor por debajo del cual queda un cuarto de los datos (25%), el cuartil 2 es el valor de la mediana, y el cuartil 3, es el valor por debajo del cual quedan las tres cuartas partes (75%) de los datos (Montenegro, 2009).

Los diagramas de caja son muy útiles en las proyecciones del clima futuro, debido a que representan variables que presentan una gran desviación de la distribución normal, logrando que los valores extremos y atípicos sobresalgan del conjunto de los datos, lo que permite identificar el cambio en las condiciones extremas de cada una de las variables (Magaña, 2010).

3.1.4. Tendencias de precipitación

Debido a que LARs no es una buena herramienta para proyectar la precipitación, en la presente investigación se trabajó con los datos homogeneizados con RHtest V4. Una vez realizada la prueba de calidad de los datos, el primer paso a trabajar en la plataforma de RHtest V4 para proyectar las tendencias de la precipitación, fue transformar los datos de la escala diaria a escala mensual, para ello se trabajó con la función "Transform data" y de esta forma se generaron los archivos mensuales de interés. Posteriormente se seleccionó la función FindU para probar la homogeneidad de las series mensuales de precipitación sin incluir series de referencia, y se revisaron los gráficos del archivo PDF para revisar que no existieran puntos de quiebre en la serie (break point) (figura 2); subsecuentemente se exportaron los datos al programa estadístico STATISTICA 7 para obtener la ecuación de la tendencia en el tiempo.

Figura 2. Prueba de homogeneidad de datos con RHtest V4



Una vez obtenidas las ecuaciones de las proyecciones se procedió a analizar los datos mediante el software STATISTICA 7 de donde se obtuvieron los gráficos de las tendencias de precipitación.

3.2. Aspectos socioeconómicos

3.2.1. Índice de Vulnerabilidad Total (IVT)

El IVT se integra como resultado de varios índices sociales, económicos y agrícolas. Los resultados mostrarán aquellos municipios dentro de la región aguacatera que muestran mayor vulnerabilidad social, económica y agrícola ante eventos extremos producto del cambio climático. La tabla 2 muestra una síntesis de la metodología empleada para el cálculo de la vulnerabilidad socioeconómica, producto de la combinación de información sobre: productores agrícolas (IVAM), participación de la agricultura en la economía municipal (IIEA) y la incorporación de variables sociales en el IVSO.

Tabla 2. Metodología para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Total

	Mun. 1	Mun. 2	Mun. 3	Mun“N”
(IEE*ICP*Am*Idiv) = IIEA				
IIEA = Indicador de Importancia de la Economía Agrícola (Impacto económico de la agricultura municipal). Se procede a la estandarización de datos.				
Nota: IEE = Índice de especialización económica ICP = Índice de concentración de la población en el sector primario Am = Participación de la agricultura en la economía municipal Idiv = Índice de diversificación de las actividades económicas municipales				
Índice de Vulnerabilidad Económica del Impacto Agrícola IVEIMA = IIEA*IVAM	IVSO = (Índice de desarrollo humano)-(Índice de Pobreza, FGT)*(Marginación)-(Dependencia Económica)-(Marginación)+(PIB*1-GINI) Datos estandarizados para su adición y sustracción.			
IVAM = Índice de Vulnerabilidad agrícola municipal de los productores agrícolas	Índice de Vulnerabilidad Total (IVT) = IVEIMA + IVSO			
Componentes del IVAM= Técnica, Riego, Tracción, Instalaciones, Calidad de la superficie y Acceso a financiamiento	IVT = Índice de Vulnerabilidad Total			

3.2.2. Índice de Vulnerabilidad Total Climática (IVTclim)

Con la finalidad de mostrar el vínculo entre la vulnerabilidad agrícola, social, económica y climática se elaboró el IVTclim considerando los valores obtenidos en el análisis climático y socioeconómico, donde se asignaron valores del 1-4 para cada variable (tabla 3).

Tabla 3. Índice de Vulnerabilidad total climática (IVTclim)

Escenarios de CC (Aumento de la T°)		Ecuaciones (Disminución de la precipitación)		Índice de Vulnerabilidad total (IVT)		Índice de Vulnerabilidad total climática (IVTclim)
Valores obtenidos	Valor asignado	Valores obtenidos	Valor asignado	Valores obtenidos	Valor asignado	Sumatoria
0-1	1	0-1	1	21-30	1	
1.1-2	2	-1-(-3)	2	31-40	2	
2.1-3	3	-3.1-(-5)	3	41-50	3	
3.1-4	4	-5.1-(-7)	4	51-mas	4	

IV. RESULTADOS. VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA Y AGRICOLA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN AGUACATERA DE MICHOACÁN

A continuación se exponen en la primera parte los resultados obtenidos tras el análisis de las series de temperatura y en la siguiente parte se describen los resultados alcanzados en el caso de la precipitación.

4.1. Escenarios de cambio climático

La tabla 4 muestra los valores de cambio climático de la temperatura máxima observada y proyectada por LARS bajo versión 4.0 cada escenario A2 y A1B (horizontes de tiempo 2025, 2050 y 2075).

Tabla 4. Valores de cambio climático

ESTACIÓN	Municipio	ESCENARIO A2			ESCENARIO A1B		
		2025	2050	2075	2025	2050	2075
16073	Los Reyes	1	1.9	3.2	1.1	2.1	3
16043	Cotija	0.4	1.4	2.8	0.6	1.7	2.7
16106	Tinguindín	1	2.2	3.8	1.2	2.4	3.5
16014	Tangancícuaro	1.3	2.3	3.8	1.4	2.5	3.6
16125		0.4	1.7	3.4	0.7	2	3.3
16137		0.8	1.9	3.4	1	2.2	3.3
16165	Uruapan	1.8	2.8	4.1	2	2.9	3.9
16127	Taretan	0.8	1.6	3.1	0.8	1.8	2.7
16123	Tacámbaro	0.9	1.9	3.5	0.9	2	3.2
16140	Madero	2.5	3.6	5.3	2.8	4	5.3

Los resultados muestran que la estación 16140 ubicada a 2135 msnm proyecta el mayor aumento en la temperatura máxima bajo los dos escenarios en los tres horizontes de tiempo, mientras que la estación que presenta el valor más bajo es la estación 16043 ubicada a 1580 msnm.

Los resultados de los escenarios indican una modificación del clima con respecto al historial. Los escenarios a futuro indican que es posible que haya en incremento la temperatura. Los índices de temperatura en la región aguacatera proporcionan evidencia clara de una tendencia reciente al aumento en la frecuencia de días calurosos..

Es importante reiterar que los escenarios de cambio climático a escala regional deben emplearse sólo como indicadores de sensibilidad del clima a cambios en el forzante radiativo, es decir, a incrementos en la concentración GEI y que los modelos del clima, tienen diversas limitaciones para simular aspectos del clima de gran relevancia para México por ejemplo, la señal espacial de la variabilidad interdecadal del ciclo hidrológico, y a la calidad de los datos disponibles.

4.2. Tendencias de la precipitación

La tabla 5 muestran las ecuaciones obtenidas de las proyecciones realizadas con RHtest V4 los resultados de la tendencia de la precipitación pluvial, se distingue que las 12 estaciones climatológicas muestran una tendencia negativa, alguna en mayor medida que otras. Cabe mencionar que la estación 16165 de Uruapan que presenta la media más alta (1614 mm) es la que presenta la mayor tendencia negativa a futuro.

Tabla 5. Ecuaciones de las tendencias de precipitación obtenidas con RHtest V4

ESTACIÓN	Municipio	ECUACIÓN
16073	Los Reyes	$y = -1.350x + 1044$
16043	Cotija	$y = -1.860x + 941.9$
16106	Tinguindín	$y = -2.414x + 986$
16014	Tangancícuaro	$y = -1.271x + 938.5$
16125		$y = -5.674x + 947.4$
16137		$y = -0.128x + 908.5$
16165	Uruapan	$y = -7.053x + 1614$
16127	Taretan	$y = -2.305x + 1202$
16123	Tacámbaro	$y = -2.723x + 1286$
16140	Madero	$y = -5.606x + 1312$

Los resultados de las ecuaciones de las 10 estaciones muestran una tendencia a la reducción de la precipitación pluvial; a razón promedio de 1.05 milímetros por año en promedio; situación que plantea un impacto en los cultivos de temporal que seguramente repercutirá en el rendimiento de los mismos.

4.2. Vulnerabilidad total (agrícola, social y económica)

Con excepción de los municipios del Oriente de Michoacán (Zitácuaro, Tuxpan y Tocumbo), así como una interpretación parcial para Apatzingán, dado que su extensión lo ubica en más de un pixel, a la vez que la información social se dispone por municipio. Se puede apreciar que los municipios con mayor IVT son: Tancítaro, Turícato y Madero, se puede apreciar en la tabla 6 que Tancítaro es altamente vulnerable en IVEIMA, que Turicato en cambio muestra mayor IVSO y Madero tiene elevados ambos índices. En el IVT los municipios con mayor vulnerabilidad son Tancítaro, Turicato y Madero.

Tabla 6. Vulnerabilidad socioeconómica total derivada del efecto agrícola ante cambio climático en la región aguacatera

	IVEIMA	IVSOE	IVT
Acuitzio	19.3	15.5	34.8
Apatzingán	19.8	8.0	27.8
Ario	13.8	11.2	25.0
Cotija	21.8	12.3	34.1
Madero	31.0	28.7	59.6
Nuevo Parangaricutiro	26.1	8.0	34.0
Peribán	28.1	7.5	35.6
Los Reyes	19.1	9.6	28.7
Salvador Escalante	14.3	16.3	30.6
Tacámbaro	14.5	11.6	26.1
Tancítaro	97.0	11.6	108.7
Tangamandapio	24.4	14.8	39.2
Tangancicuaro	23.1	11.5	34.6
Taretan	23.4	8.9	32.3
Tingambato	19.6	13.9	33.5
Tingüindín	27.3	9.7	37.0
Tocumbo	22.5	9.7	32.2
Turicato	20.1	45.2	65.4
Tuxpan	27.0	16.3	43.3
Uruapan	13.7	8.9	22.6
Ziracuaretiro	25.9	12.2	38.0
Zitácuaro	14.8	11.7	26.5

Tomando en cuenta los resultados de las proyecciones de cambio climático, las tendencias de la precipitación y el índice de vulnerabilidad total, finalmente se obtuvo el índice de vulnerabilidad total climático (IVTclim), que consiste en la suma de las vulnerabilidades (agrícola, social, económica y climática) para los ocho municipios de la región aguacatera a los cuales se les realizaron los análisis socioeconómicos y climáticos. La fuente de información de la tabla 7, corresponden a las tablas 4, 5 y 6 del presente trabajo. Al respecto los municipios que presentan la mayor vulnerabilidad son: Madero y Uruapan, lo anterior debido a que los valores de precipitación muestran una tendencia hacia la reducción, muy por encima de las demás

estaciones. Al mismo tiempo las proyecciones de incremento de la temperatura muestran valores por arriba de la media.

Tabla 7. Resultados del IVTclim

Municipio	Escenarios de CC (Aumento de la T°)	Ecuaciones (Disminución de la precipitación)	VET	IVTclim
Cotija	3	2	2	7
Los Reyes	4	2	1	7
Tacámbaro	4	2	1	7
Tangancícuaro	4	2	2	8
Taretan	4	2	2	8
Tinguindín	4	2	2	8
Uruapan	5	4	2	11
Madero	5	4	4	13

La tabla 7 muestran que los municipios de Uruapan y Madero son los más vulnerables a los efectos del cambio climático, debido a las características socioeconómicas y a que son los municipios que presentan los valores más altos de vulnerabilidad climática, tanto en el aumento de temperatura, como en la disminución de la precipitación a futuro. No obstante lo que los resultados sugieren es necesario aclarar que no se cuenta con información sobre la respuesta concreta del cultivo a la variabilidad climática que se muestra en los escenarios y tendencia de precipitación, asumiendo que la reducción de precipitación y aumento de la temperatura tienen un impacto negativo en el rendimiento del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Beck, U.** (1998). *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*. Paidós Ibérica.
- CEPAL-FAO-IICA**, 2013. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada desde América Latina y el Caribe*. Ed. FAO-IICA, Santiago de Chile.
- Carman, F. H.** (2009). *An Economic Evaluation of the Hass Avocado Promotion Order's First Five Years*. (G. F. Report, Ed.) Davis, California, EU: Universidad de California.
- Centeno, G.** (2005), "Análisis del mercado del aguacate convencional y orgánico en la Unión Europea". *Centro de Investigación de Mercados Sostenibles*. Consulta: Enero de 2005). Disponible en: http://www.cimsla.com/ES/publicaciones/ficha_publicaciones.phtml/1600/3/area.
- Conde, C.** (2006). *México y el Cambio Climático Global*. México, D.F.: UNAM.
- Conde, C., Ferrer, R., Gay, C., Magaña, V., Pérez, J., Morales, T., y otros.** (2004). El Niño y la agricultura. En V. Magaña, *Los impactos de El Niño en México* (págs. 103-135). México: SG-UNAM-IAI-CONACYT.
- Jones, D. A.** (2009). The Great Global Warming Swindle: a Critique. (B. o. National Climate Centre, Ed.) *Bulletin of the Australian Meteorological and Oceanographic Society* (20), 11.
- Gay, C., Estrada, F., & Martínez, B.** (2010). Cambio climático y estadística oficial. (INEGI, Ed.) *Revista Internacional de Estadística y Geografía.*, 1 (1), 1-7.
- Granados, R., & Sarabia, A. A.** (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (3), 435-446.
- Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B., Guillén-Andrade, H., & Chávez-Bárcenas, A. T.** (2010). Agroecología de la Franja Aguacatera en Michoacán. *Interciencia*, 35 (9), 646-653.
- IPCC**, (2000) Informe Especial del IPCC Escenarios de Emisiones, resumen para responsables de políticas, Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- Magaña, V. O.**, (2010) Guía para Generar y Aplicar Escenarios Probabilísticos Regionales de Cambio Climático en la toma de decisiones, Centro de Ciencias de la Atmósfera, México, UNAM.

Magrin, G., Travasso, M., López, G., Rodríguez, G., & Lloveras , A. *Vulnerabilidad de la producción agrícola en la Región Pampeana Argentina*. 2da. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Componente B3, Argentina.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [En línea] disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf>. (Consultado el 25 mayo de 2015).

Montenegro, E., (2009) Diagramas de Caja o Box Plot, Estadística y Probabilidades, Perú, [En línea] disponible en: <http://curso-estadistica-probabilidades.blogspot.mx/2009/10/diagrama-de-caja-o-boxplot.html> [Consultado el 22 de marzo de 2015].

Montoya Gaviria, G. d. (2012). Principios Físicos e Incertidumbre en el Calentamiento Global y el Cambio Climático. (F. d. Diseño, Ed.) *La Tadeo* (71), 33-47.

Muñoz, S. A. G. y W. Torres. 2013. Homogeneización de datos disponibles para el estudio especializado para la actualización y automatización del modelo hidrológico FONANG para la Cuenca Alta del Río Guayllabamba y Microcuencas Oyacachi, Chalpi Grande, Papallacta y Antisana. Informe técnico para el FONAG-USAID-CMC, [En línea] disponible en: www.infoaguayllabamba.ec. [Consultado el 27 de julio de 2015].

ONU. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Organización de Naciones Unidas. ONU.

Ordaz, J. L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta , A., & Serna, B. (2009). *El Salvador: Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México: CEPAL.

Ponce Cruz, Y. Y. y P. C. Cantú M. (2012). Cambio Climático: Bases Científicas y Escepticismo. (U. A. Juárez, Ed.) *Culcyt//Cambio Climático*, 1 (46), 5-12.

Torres Preciado, V. H. (2006). “La competitividad del aguacate mexicano en el mercado estadounidense”. *Geografía Agrícola*, núm. 43, julio-diciembre, 2009, pp. 61-79, disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/757/75715608005.pdf>. Consulta, febrero de 2012

Torres, P., Cruz, J. G., & Acosta, R. (2011). Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático. Agendas de adaptación y sistemas institucionales. *Política y Cultura* (36), 205-232.

Semenov, M. A. y E. M. Barrow (2002) LARS-WG, A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, [En línea] disponible en <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/masmodels/download/LARS-WG-Manual.pdf>. [Consultado el 8 de octubre de 2014].

Wang, X. L.; Feng, Y. (2007). RhtestV4. User Manual, [En línea] disponible en: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>. [Consultado el 18 de mayo del 2015].