



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE ECONOMÍA VASCO DE QUIROGA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS EN DESARROLLO SUSTENTABLE

**El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y
Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS EN DESARROLLO
SUSTENTABLE

PRESENTA

Leninn Villanueva Tomas

Director (a) de tesis:

Dra. Katia Beatriz Villafán Vidales

MORELIA, MICH. FEBRERO 2020

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme la fortaleza para concluir una más de mis metas y objetivos planteados, por estar conmigo en cada paso que doy y fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, esperando continúe así.

Mi enorme agradecimiento a mi director (a) de tesis Dra. Katia Beatriz Villafán Vidales por su valiosa dirección y apoyo a la conclusión de la presente investigación, así como a mis sinodales, Dr. Dante Ariel Ayala Ortiz, Dr. Oscar de la Torre Torres, Dr. Carlos Ortiz Paniagua y Dra. Erna Martha López Granados por sus aportaciones realizadas como miembros sinodales para mejorar la presente investigación.

Mi completo agradecimiento a mi familia y tíos por preocuparse de hacer de mí una persona de provecho y por su orientación y consejos que me brinda a lo largo de mi vida, estando presentes en mis logros y fracasos.

Finalmente, y no por ello menos importante, agradezco a la Facultad de Economía "Vasco de Quiroga" por brindarme sus instalaciones en mi estancia como estudiante, así como al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que me brindo una beca por 4 años para curar el programa de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIACIONES	I
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
Importancia de la alimentación y la agricultura	3
El cambio climático y sus efectos en la alimentación y agricultura	5
El cambio climático y los costos de adaptación	8
Preguntas de investigación	12
Objetivos de investigación	12
Hipótesis de la investigación	13
Delimitación del estudio	13
Justificación de la investigación	13
CAPÍTULO I. EL MAÍZ EN LA CULTURA MEXICANA.....	19
1.1 Características y usos del maíz	19
1.2 El origen del maíz y su rol en la cultura mexicana.....	21
1.3 La biodiversidad del maíz en México.....	29
1.4 La producción y consumo de maíz en México	30
1.5 La Revolución Verde y su investigación sobre el maíz	34
1.6 El maíz transgénico en México	36
CAPÍTULO II. EL CAMBIO CLIMÁTICO: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	42
2.1 Calentamiento global.....	42
2.2 Cambio climático.....	45
2.3 Posturas sobre el origen del cambio climático	47
2.4 Cambio climático antropogénico.....	50
2.5 Fundamentos de los escépticos.....	52
2.6 La postura institucional sobre el calentamiento global	54
2.7 Los límites del ecosistema global.....	58
2.8 Primera evidencia de los límites globales: apropiación de biomasa humana.....	59

2.9 Segunda evidencia de los límites globales: cambio climático.....	60
2.10 Tercera evidencia de los límites globales: ruptura de la capa de ozono.....	61
2.11 Cuarta evidencia de los límites globales: degradación del suelo.....	62
2.12 Quinta evidencia de los límites globales: pérdida de la biodiversidad.....	63

CAPÍTULO III. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA: EL DESARROLLO DE MODELOS 64

3.1 El modelo de desarrollo y el cambio climático	64
3.2 Vulnerabilidad y adaptación.....	67
3.3 El cambio climático y sus efectos en la producción de maíz en México	75
3.4 Metodologías para los efectos ante el cambio climático en la agricultura	77
3.5 Actualización de escenarios de cambio climático	85
3.6 El Modelo CNRMCM5	88
3.7 El Modelo HADGEM2 ES	89
3.8 El Modelo MPI ESM LR.....	90
3.9 El Modelo GFDL_CM3.....	92
3.10 Ensamble REA	93

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO 96

4.1 El conocimiento y la ciencia.....	96
4.2 Enfoque de investigación.....	98
4.3 Alcances de la investigación.....	100
4.4 Diseño metodológico de la investigación.....	102
4.5 Variables de investigación.....	104
4.6 Análisis y procesamiento de datos	108
4.7 Tipos de modelos econométricos	110
4.8 Modelo econométrico de regresión lineal simple.....	110
4.9 Modelo econométrico de datos panel	116
4.10 Modelo de efectos fijos.....	119
4.10.1 Estimador de primeras diferencias	119
4.10.2 Estimador intragrupos/within-groups estimator	121
4.11 Estimación con variables ficticias o artificiales	122
4.12 Modelo de efectos aleatorios	123

4.13 Tratamiento de las variables en los modelos econométricos.....	126
4.14 Limitaciones y supuestos del modelo	128
 CAPÍTULO V. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	130
5.1 Modelos de regresión lineal simple	130
5.1.1 Modelo de regresión lineal para Michoacán, caso del precio frecuente de maíz blanco de temporal.....	130
5.1.2 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal	131
5.1.3 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos y un rezago para Michoacán, caso del precio máximo mensual de maíz blanco de temporal	132
5.1.4 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio mínimo mensual de maíz blanco de temporal	133
5.1.5 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie cosechada de maíz en grano de temporal	134
5.1.6 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal	136
5.1.7 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal	137
5.1.8 Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio medio rural de maíz en grano de temporal	138
5.2 Modelos de datos panel	140
5.2.1 Modelo de datos panel a nivel nacional, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal.....	140
5.2.2 Modelo de datos panel por estado, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal	142
5.2.3 Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal.....	146
5.2.4 Modelo de datos panel por estado, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal	147
5.2.5 Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal.....	151
5.2.6 Modelo de datos panel por estado, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal	152
 CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	155
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163

Bibliografía.....	169
Anexos.....	189

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Producción de maíz grano en México por tipo, 2005 – 2015 (millones de toneladas por año agrícola).....	32
Gráfico 2. Principales estados productores de maíz grano en México, 2006 – 2015 (millones de toneladas).....	32
Gráfico 3. Consumo de maíz grano en México, 2014 – 2017 (millones de toneladas).....	34
Gráfico 4. Histórico de los niveles de CO_2	47
Gráfico 5. Construcción del índice de vulnerabilidad.....	69
Gráfico 6. Escenarios de emisiones de gases efecto invernadero (GEI).....	103
Gráfico 7. Elementos de una ecuación en un modelo econométrico.....	109

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Estados en los cuales la temperatura incide en el valor de la producción de maíz en grano de temporal.....	143
Mapa 2. Estados en los cuales la precipitación incide en el valor de la producción de maíz en grano de temporal.....	144
Mapa 3. Estados en los cuales la temperatura incide en la producción de maíz en grano de temporal.....	148
Mapa 4. Estados en los cuales la precipitación incide en la producción de maíz en grano de temporal.....	149
Mapa 5. Estados en los cuales la temperatura incide en la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal.....	152
Mapa 6. Estados en los cuales la precipitación incide en la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de los modelos para estimar el efecto del cambio climático en la agricultura	83
Tabla 2. Modelos de Circulación General (MCG)	87
Tabla 3. Modelo de regresión lineal para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal.....	131
Tabla 4. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal	132
Tabla 5. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos y un rezago para Michoacán, caso del precio máximo mensual de maíz blanco de temporal	133
Tabla 6. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio mínimo mensual de maíz blanco de temporal.....	134
Tabla 7. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie cosechada de maíz en grano de temporal	135
Tabla 8. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal	136
Tabla 9. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal	137
Tabla 10. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio medio rural de maíz en grano de temporal.....	138
Tabla 11. Resumen de los modelos de regresión lineal.....	139
Tabla 12. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal.....	141
Tabla 13. Modelo de datos panel por estado, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal.....	145
Tabla 14. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal.....	146
Tabla 15. Modelo de datos panel por estado, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal.....	150
Tabla 16. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal.....	151
Tabla 17. Modelo de datos panel por estado, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal.....	154

LISTA DE ABREVIACIONES

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	Banco Mundial
C3S	Copernicus Climate Change Service
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFCS	Clorofluorocarbonos
CIMMYT	Centro Internacional de Investigación para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CINVESTAV	Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
CMIP	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNPT	Centro Nacional de Previsión del Tiempo
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONASUPO	Compañía Nacional de Subsistencias Populares
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
CoP 21	Conferencia de las partes, Reunión número 21
CoP 7	Conferencia de las partes, Reunión número 7
DICONSA	Distribuidora y Comercializadora CONASUPO S.A.
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Food and Agriculture Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FECC	Fondo Especial para el Cambio Climático
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
FPMA	Fondo para los Países Menos Adelantados
GEI	Gases Efecto Invernadero
GFDL	Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IIA	Instituto de Investigaciones Agrícolas
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MCG	Modelos de Circulación General
MCGOA	Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano Acoplados
MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS	Objetivos del Desarrollo Sostenible
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OMS	Organización Mundial de la Salud
PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RCP	Trayectorias de concentraciones representativas
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIAP	Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera
SIWI	Stockholm International Water Institute, Instituto Internacional del Agua de Estocolmo
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SNIIM	Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados
SST	Temperatura de la Superficie del Mar
SWOPSIM	Static World Policy Simulation, Simulación Estática de Políticas Mundiales
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNDP	United Nations Development Program, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
UNEP	United Nations Environment Programme, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

RESUMEN

El cambio climático es un tema de gran interés a nivel internacional debido a los pronósticos sobre su afectación en el sector agrícola, particularmente, en la producción de alimentos necesaria para la sobrevivencia humana. Es por ello que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Fondo para los Países Menos Adelantados (FPMA) y el Fondo Especial para el Cambio Climático (FECC) han creado fondos económicos a nivel internacional para contrarrestar y hacer frente al cambio climático, acorde a los objetivos de la CoP 21 sobre el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático y sobre el estudio de metodologías para evaluar las necesidades de adaptación, con el fin de presentar asistencia a los países en desarrollo sin imponer una carga indebida.

Bajo dicho contexto se desarrolló la presente investigación, con el objetivo de determinar la manera en que influye el cambio climático en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en el caso de Michoacán, así como establecer las bases metodológicas para determinar un modelo de costos de adaptación en la producción de maíz en grano en Michoacán. Para ello, se utilizaron modelos econométricos de regresión lineal y de datos panel, definiendo como variables independientes la temperatura media y la precipitación pluvial media, y como variables dependientes el valor de la producción de maíz en grano de temporal, la producción y la superficie siniestrada del maíz en grano de temporal, a nivel nacional y en Michoacán.

Entre los principales resultados se encontraron: 1) a nivel nacional se determinó que la precipitación pluvial media sí influye en la producción, y en el valor de la misma, del maíz en grano de temporal; 2) a nivel estado de Michoacán, también se determinó que la precipitación pluvial media y la temperatura media, también influyen en la producción, y su valor de la misma, del maíz en grano de temporal.

Se concluye que el cambio climático afecta la producción de maíz en grano de temporal, por ello se debe actuar con estrategias y medidas de adaptación integrales, en el marco de los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: calentamiento global, temperatura media, precipitación pluvial media, alimentos, modelos econométricos.

**THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON CORN PRODUCTION IN MEXICO AND
MICHOACAN AS A BASIS FOR AN ADAPTATION COST METHODOLOGY**

ABSTRACT

Climate change is a topic of great interest at international level, due to the problems on its involvement in the agricultural sector, specifically, in the production of food necessary for human survival. As consequence the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the Fund for Least Developed Countries (FPMA) and the Special Fund for Climate Change (FECC) have created international economic funds to counteract and addressing climate change, according to the objectives of Cop 21 on the development of climate change adaptation strategies and on the study of methodologies to assess adaptation needs, in order to present assistance to developing countries without imposing an undue burden.

Under this context, the research objective is to determine the way in which climate change influences the corn production at the national level and in the case of Michoacán and establish a methodological base to determine an adaptation costs model for corn production in Michoacán. In order to achieve the objective econometric models of lineal regression and panel data were used, defining as average independent variables the average temperature and rain precipitation and as dependent variables the value of the production of temporary grain corn, the production and the damaged surface of the corn grain of temporary, nationally and in Michoacán.

The main results were: 1) at national level, average rain precipitation has a direct influence on temporary grain corn production and value; 2) at state level (Michoacán) it was also determined that average rain precipitation and temperature have a direct influence on temporary grain corn production and value.

The research concluded that climate change affects the production of temporary grain corn, so we must act under the concept of sustainability.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la producción de alimentos ha aumentado a la par con la demanda; desafortunadamente, la población incrementa constantemente y con ello se despierta preocupación por el desbalance potencial entre el número de seres humanos y la satisfacción de las necesidades alimentarias. Investigaciones de la FAO (2006), OCDE (2009) y El Instituto Internacional del Agua de Estocolmo (SIWI por sus siglas en inglés) (2004) estiman que la producción de alimentos a nivel global deberá incrementar en un 70% para el 2050 y la necesidad de agua duplicará las necesidades de inicio de siglo para el 2025. La productividad agrícola debe mejorar, sin embargo, los recursos de la tierra y el agua son cada vez más escasas y se genera una incertidumbre ante los efectos del cambio climático (Huan, Von Lampe y Von Tongeren, 2011).

Simultáneamente, las concentraciones de gases de efecto invernadero han llegado a niveles que no se tenían en la tierra, en por lo menos 800,000 años, las pruebas indican que las tasas aceleradas de dichos gases que han incrementado desde 1750 a la fecha, se deben fundamentalmente a la actividad del ser humano. Ello, ha impactado en un incremento de la temperatura promedio de la tierra de 0.85°C entre 1880 y 2012, período en el cuál fue posiblemente el más caluroso en el hemisferio norte en los últimos 1400 años (Stocker *et. al.*, 2013).

El derretimiento de la nieve en los glaciares y polos, el incremento en la temperatura promedio del océano, el aire y la elevación del nivel del mar, son algunos de los efectos del cambio climático (IPCC, 2007) que pueden generar diversos impactos a nivel mundial como: cambios en los ecosistemas, en la productividad de las cosechas, en la distribución de vectores y enfermedades, en la disponibilidad de agua y posiblemente un incremento en los eventos meteorológicos extremos como tormentas, sequías e inundaciones (IPCC, 2007; Stern, 2006).

Los efectos mencionados anteriormente, como consecuencia del cambio climático, atentan contra los elementos básicos para la vida como el acceso al agua, la

producción de alimentos, la salud, el uso de la tierra y los ecosistemas (Stern, 2006). Además, de ocasionar restricciones significativas en diversas actividades económicas como el transporte, el turismo, la energía, los sistemas hídricos, la agricultura, la pesca, la salud y la silvicultura (IPCC, 2007; Parlamento Europeo, 2010; Seo, 2011;).

Según expertos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007; Adger, 2007) los posibles impactos del cambio climático en la agricultura incluyen el incremento del rendimiento en entornos más fríos y la disminución de la producción en los ambientes más cálidos, daños en los cultivos, aumento de plagas, mayor peligro de incendios forestales y erosión del suelo. Los posibles efectos para los recursos hídricos son la contaminación del agua, el aumento de la demanda y la disminución en la disponibilidad de agua dulce.

Los impactos mencionados anteriormente, no se manifiestan de manera uniforme o equitativamente y representan una amenaza para los países en desarrollo (Stern, 2006). El IPCC (2008) ha realizado diversas investigaciones en Latinoamérica que demuestran retrocesos de glaciares, incrementos en la frecuencia de inundaciones y de incendios forestales, pérdida de biodiversidad e incremento de enfermedades en plantas. Al interior de Latinoamérica la región más perjudicada es Centroamérica, principalmente en lo referente a la seguridad alimentaria (Magrin *et al.*, 2014). Ello se debe, entre diversos factores, a que la mayor parte de los países en desarrollo, dependen más de la agricultura, y tienen menos recursos económicos para llevar a cabo medidas de adaptación, y generalmente se encuentran expuestos a situaciones climatológicas extremas (Fischer *et al.*, 2005; Mendelsohn, 2009). Otra de las características es, que la mayoría de los agricultores son pequeños productores, los cuales tiene mayor grado de afectación debido al limitado acceso a tecnologías, insumos, información y recursos económicos que les permitan implementar medidas de adaptación (Birthal *et al.*, 2014).

Estudios basados en Modelos de Circulación General (MCG) y de cultivos (CEPAL, 2009; IPCC, 2007) pronostican para Latinoamérica disminuciones del

rendimiento en plantaciones de papa, vid, arroz y cebada. Por ello, se requiere implementar medidas efectivas de adaptación.

Entendiéndose a la adaptación como el grado en que es posible efectuar ajustes en las prácticas, procesos y estructuras de los sistemas, en función de los cambios provistos o reales del clima.

El cambio climático es una realidad (FMAM, 2011; INECC, 2012; IPCC, 2007; Stern, 2006) y el reto para la agricultura es definir estrategias de adaptación y, muy importante, implementarlas y monitorear sus resultados, analizando las consecuencias del cambio climático, y las causas de la vulnerabilidad¹ para tomar la decisión de actuar sobre ellas. De manera que el análisis de riesgo permitirá evaluar la probabilidad de futuras pérdidas, analizando escenarios a futuro.

Importancia de la alimentación y la agricultura

La alimentación, entendida como lo que comemos, es un proceso en el que influyen una gran cantidad de factores. La alimentación adecuada en la humanidad es una de las formas más confiables para proteger y mejorar la salud. Por ello, la nutrición desempeña un papel esencial en la vida, incluso antes del nacimiento.

En ese sentido, la alimentación en la población de un país es esencial para su desarrollo, incluso se desarrolla el concepto de seguridad alimentaria, definiéndose como el estado en el cuál todas las personas gozan, en forma oportuna y permanente, de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo (López, 2015).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1996) menciona que la seguridad alimentaria es cuando todas las personas tienen en todo momento acceso a

¹ La vulnerabilidad es el grado en que el cambio en el clima puede ser perjudicial o nocivo, medido por el grado de exposición, susceptibilidad y capacidades que tienen las personas, los bienes o los sistemas a verse afectados por dicha amenaza (PNUD y ONU Medio Ambiente, 2018).

suficientes alimentos inocuos y nutritivos para mantener una vida saludable y activa. Se basa en tres pilares: disponibilidad de alimentos, existencia de alimentos suficientes para alimentar a la población; acceso a los alimentos, tener suficientes recursos para obtener alimentos apropiados y una alimentación nutritiva; consumo humano, darles un uso apropiado a los alimentos basados en el conocimiento de la nutrición básica, así como agua y saneamiento adecuados.

Bajo esta perspectiva, la alimentación se relaciona con la importancia de la agricultura, la pobreza, los mercados, el empleo, etc. Es por medio de la agricultura que se proveen los alimentos tan importantes para la población. Además, es un instrumento esencial en el desarrollo sostenible y en la disminución de la pobreza. Como elemento único no disminuye sustancialmente la pobreza, pero sí se ha demostrado ser eficiente en dicha tarea (Banco Mundial, 2008).

La agricultura se practica en todos los países, desde los caracterizados por ser agrícolas, los que se encuentran en proceso de transformación y hasta los urbanizados. En los países urbanizados, formados por casi toda América Latina, la mayor parte de Europa y Asia central, la agricultura puede contribuir a disminuir la pobreza rural latente en los pequeños agricultores, que son proveedores de los mercados modernos de alimentos.

La agricultura llega a ser una herramienta muy útil para el desarrollo, debido a su actividad económica, como medio de subsistencia y como proveedora de servicios ambientales. Dos tercios del valor agregado corresponden a la agricultura en países en desarrollo, y en países agrícolas aportan el 29% del Producto Interno Bruto (PIB), empleando al 65% de la fuerza laboral (Banco Mundial, 2018).

Se han realizado estimaciones por el Banco Mundial (2008, 2018) donde se menciona que la agricultura es el medio de vida para el 86% de la población rural, ofreciendo empleo a 1,300 millones de pequeños productores y trabajadores que no tienen tierras, aportando bienestar social financiero al sector agrícola, así como en situaciones de crisis urbanas y llega a ser la base económica de las comunidades rurales.

Bajo este contexto, la agricultura es una actividad primordial, que proporciona una forma de vida principalmente para la población rural, abastece de alimentos a la población, y genera empleos. Sin embargo, esta actividad será afectada por el cambio climático, debido a que el clima es primordial para la producción agrícola. En los países de América Latina y el Caribe, el sector agropecuario será vulnerable a las condiciones climáticas y por consecuencia a los efectos potenciales del cambio climático (CEPAL, 2014).

El cambio climático y sus efectos en la alimentación y agricultura

En América Latina y el Caribe, la agricultura como actividad económica, representa aproximadamente el 10% del PIB y contribuye con el 12% de las exportaciones agrícolas mundiales (Banco Mundial, 2009). A partir de las estimaciones que realiza la FAO (2003) para América Latina, prevalecen zonas con problemas de seguridad alimentaria, donde los cultivos más sensibles se han identificado en: a) Brasil, la soya, caña de azúcar, trigo, arroz, maíz y yuca; b) La región Andina, el trigo, arroz, cebada, maíz, papas, yuca, caña de azúcar, soya y palma; c) Centroamérica y el Caribe, trigo, arroz, maíz, yuca y caña de azúcar (Banco Mundial, 2009; CEPAL, 2009).

El cambio climático, específicamente el incremento de temperatura entre 1.5 y 2°C, estipulado por la CoP21 (2015), afecta, entre una gran variedad de aspectos, a la producción de alimentos a nivel mundial, especialmente en países en desarrollo y países menos desarrollados, debido a la carencia de recursos económicos que puedan destinarse a afrontar las variaciones climatológicas ante el cambio climático. Es así que uno de los principales determinantes de la productividad agrícola es el clima (Adams *et al.*, 1998) y ello obedece a la acumulación de gases efecto invernadero que hacen que sea casi imposible que se presenten cambios en el clima a los cuáles tendrá que adaptarse la agricultura. Esto implica que habrá cambios en el tipo y combinación o mezcla de cultivos que se producen, y además un incremento en la inversión para la producción de alimentos (McCarl, 2010). Por tanto, se espera que la agricultura será el sector

que presentará los mayores efectos económicos ante el cambio climático (Cuba, 2012; Fischer *et al.*, 2005; Mendelsohn, 2009).

A lo anterior, se suman las evidencias científicas por parte del IPCC (2007; 2014) y de López y Hernández (2016) sobre el impacto del cambio climático en el sector agrícola por el efecto sobre las variables conexas relevantes: precipitación, temperatura, concentración de dióxido de carbono y la humedad del suelo.

Se pronostica que los impactos perjudiquen de forma desproporcionada el bienestar de los pobres que habitan en zonas rurales, complicando el combate a la pobreza (Field *et. al.*, 2014). Adicionalmente, el cambio climático afectará la seguridad alimentaria al alterar la disponibilidad y acceso de alimentos, así como la estabilidad de las reservas de alimentos y la volatilidad de los precios (López y Hernández, 2016).

La incertidumbre prevalece, pero a pesar de ello el IPCC (2014) pronostica impactos potenciales del cambio climático en la agricultura, sin tomar en cuenta medidas de adaptación. Existen investigaciones (Adger, 2007; Antonescua, Calin y Diaconu, 2015; Cuba, 2012; Fischer *et al.*, 2005; López y Hernández, 2016; Mendelsohn, 2009; PNUD, 2007; Tierramerica, 2009; Torres, Cruz y Acosta, 2011; Viguera *et al.*, 2017) que indican que el cambio climático podría tener un impacto directo sobre la productividad de las cosechas y sobre la fertilidad de suelo. Además, prevalece la probabilidad de variaciones en las tasas de degradación del suelo, incrementos de salinización, aumento en las superficies de riego, reducciones de especies polinizadores, mayores pérdidas por siniestros, modificaciones relevantes en la distribución y dinámica de plagas y enfermedades.

Existen opiniones que contemplan que en un principio el calentamiento moderado del planeta beneficie la producción de cultivos en las regiones templadas y perjudique a las regiones semiáridas y tropicales. No obstante, si el calentamiento continúa por más de la mitad del siglo, se verá perjudicada la producción en todas las regiones del mundo (Tubiello y Rosenzweig, 2008).

En los estudios de la CEPAL (2009), Parry *et al.* (2004) y OMM (2017) han enfatizado en el efecto de fertilización por las elevadas concentraciones de CO_2 en la atmósfera, que podrían mitigar las repercusiones negativas del cambio climático en la productividad de los cultivos. Sin embargo, aún persiste la incertidumbre sobre los posibles beneficios, porque hay muchas interacciones y factores de estrés que no es posible agregar a los modelos actuales (CEPAL, 2018; IPCC, 2014).

Según Lobell *et al.* (2008), Lobell *et al.* (2011), Lobell y Gourdji (2012), López y Hernández (2016) y Nicholls *et al.* (2017) los cultivos más propensos a afectaciones por el cambio climático son algunos tipos de maíz, trigo y arroz, principalmente en algunas regiones de Asia y África. Para Latinoamérica la situación es diferente por la diversidad agroecológica y demográfica, por ejemplo, en el sureste de América del sur se pronostica que la productividad se mantenga o aumente levemente para mediados del siglo, y para Centroamérica se espera que la productividad disminuya en los próximos 15 años, existiendo el riesgo de la seguridad alimentaria en la población con mayor pobreza (Field *et al.*, 2014; Nicholls *et al.*, 2017).

Las investigaciones del IPCC (2007, 2008, 2014) consideran incrementos en el rendimiento de algunos cultivos como la caña de azúcar y la soya, y reducciones en la vid, la cebada y el arroz. La situación para el maíz y el trigo es errática y depende del tipo de modelo de producción. El Banco Mundial (2009, 2018) pronostica que en Latinoamérica la productividad agrícola podría caer entre un 12% y un 50% en el año 2100. A pesar de ello, la vulnerabilidad varía según la región, las tecnologías aplicadas y los cultivos, así como en función de la variabilidad climática natural por las modificaciones en los regímenes pluviales, de viento y por la incidencia de fenómenos extremos (PNUD, 2008; PNUD y ONU Medio Ambiente, 2018). Adicionalmente, es fundamental mencionar que la agricultura en pequeña escala es especialmente vulnerable y que los factores de estrés socioeconómicos suelen agravar dichas condiciones (IPCC, 2007; Viguera *et al.*, 2017).

Se menciona que los países en desarrollo son más vulnerables a las consecuencias del cambio climático que los países desarrollados, debido a que los primeros dependen en mayor grado de la agricultura, tienen menos capital para implementar medidas de adaptación, y en la mayoría de las ocasiones se encuentran más expuestos a situaciones climáticas extremas, así como a niveles de calor que en la actualidad son elevados (Fischer *et. al.*, 2005; Mendelsohn, 2009; Hidalgo y Mora, 2016). Según BIRTHAL *et. al.* (2014) serán los pequeños agricultores los más afectados debido a su poca disponibilidad a tecnologías, insumos, información y recursos monetarios para implementar medidas de adaptación.

El cambio climático y los costos de adaptación

Ante este panorama desalentador en la producción de alimentos, se ha contemplado la necesidad de crear un fondo a nivel internacional para contrarrestar y hacer frente al cambio climático. En ese sentido, el Banco Mundial (BM) crea en 1991 el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) como una prueba piloto, para coadyuvar en la protección del medio ambiente mundial, que más tarde gestionó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para que el FMAM fuese independiente (BID, 2016).

Así pues, el FMAM es un mecanismo financiero independiente que otorga donaciones a países en desarrollo y a otros que reúnen determinados requisitos para proyectos que generen beneficios para el medio ambiente mundial, respaldando proyectos en diferentes esferas como la biodiversidad, cambio climático, aguas internacionales, degradación de la tierra, capa de ozono y contaminantes orgánicos persistentes. Ha destinado 9,200 millones de dólares (mdd) complementados con más de 40,000 mdd de cofinanciamiento, respaldando unos 2,700 proyectos en más de 165 países en desarrollo y países con economías en transición (FMAM, 2011).

En la fase piloto (1991-1994) el FMAM tuvo una contribución inicial de 1,000 mdd, en la fase 1 (1994-1998) acumuló 2,000 mdd, en la fase 2 (1998-2002) se

recaudaron 2,750 mdd, en la fase 3 (2002-2006) se obtuvieron 3,000 mdd, en la fase 4 (2006-2010) se obtuvieron 3,130 mdd, en la fase 5 (2010-2014) el FMAM acumuló 4,250 mdd, destinándose entre 1991 y 2009 2,882 mdd a aspectos relacionados con la biodiversidad, 2,812mdd a asuntos de cambio climático, 1,122 mdd a asuntos de aguas internacionales, 1,143 mdd en varias esferas de actividades (FMAM, 2011). En la fase 6 (2014-2018) se han acumulado 4,430 mdd, asignándose desde 1991 hasta el 2014 el 31% de los fondos al cambio climático, seguido del 29% destinado a la biodiversidad, y el resto en las demás esferas², notando una preocupación relevante ante el cambio climático (FMAM, 2015).

Adicionalmente, en 1992 en la cumbre de Rio se crea la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), en la cuál se plantea la necesidad de hacer frente al cambio climático debido a que afectará, entre otras áreas, la producción de alimentos a escala global. A razón de ello, en el 2001 en la CoP7 se crea el Fondo para los Países Menos Adelantados (FPMA) y el Fondo Especial para el Cambio Climático (FECC), estos últimos tienen como objetivo principal el canalizar y programar recursos suficientes para financiar las actividades de adaptación al cambio climático, siendo administrados por el FMAM a petición de la CMNUCC (FMAM, 2011a).

A partir de la CoP7, en el 2001 se comenzó a realizar un mayor énfasis en la adaptación. Ello, debido a que en las últimas CoP's de la CMNUCC se reconoció la necesidad urgente de financiar medidas de adaptación específicas que redujesen los efectos adversos del cambio climático, acordando fortalecer las acciones y la cooperación internacional a fin de garantizar la aplicación de la Convención, facilitando y respaldando acciones de adaptación con el fin de disminuir la vulnerabilidad y fortalecer la capacidad de adaptación de los países en desarrollo, especialmente los países más vulnerables y los países menos adelantados, pequeños estados insulares en desarrollo y África (*Idem*).

² Aguas internacionales (11%), contaminantes orgánicos persistentes y químicos (6%), degradación de la tierra (4%) y agotamiento de la capa de ozono (2%).

Se ha aceptado que el cambio climático ya ha perjudicado la vida de los más pobres y vulnerables, siendo los costos de tomar medidas tempranas para hacer frente a las cuestiones de adaptación muy inferiores a los costos de reparar los posibles daños ocasionados por el cambio climático. En ese sentido, uno de los requisitos, por parte del FMAM y FECC, para acceder a financiamientos para la adaptación al cambio climático es determinar los costos de adaptación, situación que es una necesidad para México y diversos países menos desarrollados.

En México, existen estimaciones nacionales del costo económico que tendría el cambio climático si no se adoptan medidas de adaptación y mitigación. Sin embargo, no existen investigaciones que arrojen un cálculo exclusivo del costo de adaptación, se está avanzando en la medición del impacto económico que podría tener el cambio climático en México (INECC, 2012). Surge de esta situación, el reto para los investigadores el determinar los costos de adaptación ante el cambio climático en el sector agrícola de México, analizando el caso del maíz por ser un alimento fundamental en la cultura mexicana.

El maíz ha llegado a convertirse en el cultivo más importante para México debido a que es el alimento primordial de la población (Sierra *et al*, 2010). El maíz es la base alimentaria de pueblos indígenas, y de su producción depende la soberanía y seguridad alimentaria de las personas que viven en zonas rurales (Luna *et al*, 2012).

En ese sentido, el maíz es primordial para la alimentación mexicana, calculándose un consumo *per cápita* aproximado de 200 kg por año (Morris y López, 2000; SAGARPA, 2017). Por ello, la importancia de incrementar el potencial productivo de maíz de manera sostenida en el tiempo.

Bajo este escenario, es fundamental que se lleven a cabo estudios sobre la vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en los principales estados productores de maíz, entre los cuáles se encuentra Sinaloa, Jalisco, Estado de México y Michoacán (SIAP, 2019).

Distintos autores mencionan que la agricultura de temporal será la más vulnerable a los cambios climáticos (Blignaut *et al.*, 2009; Magaña y Conde, 2000; Hawkins *et al.*, 2013; Sánchez *et al.*, 2012). Y en México, alrededor del 81% de la superficie agrícola sembrada por maíz es de temporal, teniendo cinco veces mayor probabilidad de siniestralidad, en comparación con la superficie de riego (SIAP, 2013). Esto hace más vulnerable el maíz de temporal ante las variaciones climáticas pronosticadas en el futuro, de ahí la necesidad de llevar a cabo estudios sobre el impacto del cambio climático y sus costos de adaptación en el maíz, principalmente por la temperatura y precipitación.

Ante dicho contexto, es evidente que el cambio climático, a través del incremento de temperatura, afectará negativamente en su mayor medida a la agricultura de temporal. Y uno de los granos más importantes a nivel mundial y para México es el maíz, debido a que forma parte esencial de la alimentación (principalmente por el maíz blanco) como también para las actividades pecuarias (maíz amarillo), teniendo una incertidumbre en la seguridad alimentaria.

En este panorama es fundamental realizar investigaciones sobre el impacto del cambio climático en el maíz. En ese sentido, la presente investigación pretende abordar el impacto del incremento de temperatura en el maíz de temporal en México, determinando las bases para una metodología para cuantificar los costos de adaptación necesarios en el maíz de temporal. Para ello, se elige el maíz en grano de temporal como sujeto de investigación para determinar las consecuencias del cambio climático a nivel nacional y en Michoacán, ya que el maíz de temporal se encuentra expuesto en mayor grado a las condiciones climáticas. Bajo dicho escenario, se plantean la preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación, así como su delimitación y justificación de la misma, abordados a continuación.

Preguntas de investigación

Pregunta general

¿Cómo influye el cambio climático en el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en el caso de Michoacán?

Preguntas específicas

1. ¿Qué consecuencias tiene el incremento de temperatura en el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán?
2. ¿Qué repercusiones tiene la alteración de precipitación pluvial en el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán?

Objetivos de investigación

Objetivo general:

Determinar la manera en que influye el cambio climático en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en el caso de Michoacán y establecer las bases metodológicas para determinar los costos de adaptación en la producción de maíz en grano en Michoacán.

Objetivos específicos:

1. Determinar las consecuencias que tendrá el incremento de temperatura sobre el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán.
2. Establecer las repercusiones que tendrá la alteración de precipitación pluvial en el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán.

Hipótesis de la investigación

General

HG: El cambio climático, determinado por la precipitación pluvial y la temperatura, tiene un impacto directo en las variaciones de producción del maíz en grano, tanto a nivel nacional como en el estado de Michoacán.

Específicas

HE1: El incremento de temperatura influye de manera negativa sobre la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, así como incrementa el valor de su producción.

HE2: La variación de precipitación pluvial impactará negativamente en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, generando con ello un incremento en el valor de su producción.

Delimitación del estudio

La investigación se centrará en aportar elementos para desarrollar una metodología que permita calcular el costo de adaptación que tendrá el sector agrícola, específicamente el cultivo de maíz a nivel nacional y en el Estado de Michoacán ante el cambio climático para el año 2050, pronosticado en un incremento de 2.5°C según el INECC.

Justificación de la investigación

Según la CoP21 (2015) se estima un incremento de temperatura entre 1.5 y 2°C. Ello afectará en diversos aspectos, siendo uno de los más apremiantes la producción de alimentos a nivel global, principalmente en países en desarrollo y países menos desarrollados. De manera que la agricultura será un sector vulnerable ante el cambio climático, preocupando la producción de los principales granos y cereales a nivel global, entre los cuáles se encuentran arroz, maíz y trigo, según su orden de importancia en cuanto al valor nutricional.

El maíz, representa un grano fundamental, especialmente para México, debido a que su origen fue en nuestro país, extendiéndose posteriormente a otros lugares. Este grano surgió entre los años 8,000 y 600 A.C. cerca de la ciudad de México (Acosta, 2009; Wilkes y Goodman, 1995). Con el paso del tiempo el maíz se ha mejorado y cultivado a partir de la domesticación humana (Acosta, 2009).

Es así como México llega a ser el centro primario de diversidad genética del maíz con aproximadamente 50 razas (Acosta, 2009). Adicionalmente, el maíz se ha constituido en la base alimentaria de las personas que viven en zonas rurales y ha mantenido su reproducción biológica y cultural, garantizando la seguridad alimentaria familiar (Luna *et al.*, 2012; Damian, 2016). Especialmente el maíz nativo llega a ser la base de la alimentación en la mayoría de la población mexicana (Sarmiento y Castañeda, 2011).

El maíz como alimento básico para la población mexicana forma parte de la memoria colectiva, que no sólo forma parte de los alimentos, expresa relaciones socioeconómicas, así como actos basados en simbolismo cultural (García-Uriguén, 2012). Uno de los usos del maíz más comunes es la tortilla, que ha sido una base en la supervivencia alimentaria en México que data de una antigüedad mayor a los 3500 años (Paredes-López *et al.*, 2009).

Con el transcurso de los años han cambiado los patrones de alimentación de los mexicanos, impactando en el consumo de la tortilla. A partir de 1980 a la fecha, ha disminuido el consumo de tortilla en casi un 50%, aumentando el consumo de pan de trigo (García-Uriguén, 2012).

A pesar de ello, la tortilla es el alimento principal en la alimentación, consumiéndose aproximadamente en el 82% de los hogares, representando el 6.4% del gasto total en alimentos, incluso puede llegar al 25% del presupuesto alimentario familiar en la población de más bajos ingresos (INEGI, 2010; SAGARPA-SIAP, 2018). Según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, el consumo *per cápita* de la tortilla es de 155.4g diarios en

zonas urbanas y puede ser de 217.9g en zonas rurales (CONEVAL, 2012; SAGARPA, 2017).

También se han desarrollado nuevos usos del maíz en la cocina tradicional mexicana, como el caso del cuitlacoche o huitlacoche, de reciente uso no mayor a los cien años (Valadez *et al.*, 2011). Existe una variada forma de usos sobre el maíz en la cocina mexicana utilizado, por ejemplo, en los atoles, pinole, pozole, nixtamal, etc.

El maíz como parte fundamental de la cocina tradicional mexicana es considerado en el año 2010 Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad por la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010; 2016).

Bajo este contexto, el maíz es importante socioculturalmente para México, ya que forma parte de la cultura mexicana y su alimentación desde tiempos ancestrales, además de ser considerado patrimonio cultural y una riqueza social invaluable, formando parte de las expresiones culturales llevadas a cabo por las comunidades. Por ello, su afectación en la producción ante el cambio climático es preocupante debido a que es un elemento esencial para la población mexicana.

Para aminorar los efectos negativos en la producción de alimentos, como consecuencia el cambio climático, se han creado fondos económicos a nivel internacional para contrarrestar y hacer frente al cambio climático, entre los cuáles se encuentra el Fondo para los Países Menos Adelantados (FPMA) y el Fondo Especial para el Cambio Climático (FECC). Para acceder a estos fondos, como requisito es determinar los costos de adaptación ante el cambio climático que implican en determinados sectores o actividades.

Sin embargo, México no cuenta con investigaciones, en ninguna actividad o sector económico, sobre el cálculo de costos de adaptación que tendrá ante el cambio climático, siendo una necesidad determinar una metodología para calcular dichos costos de adaptación a nivel sectorial y regional. Esta información será útil para

determinar los impactos económicos en distintos escenarios a nivel desagregado para contribuir a la formulación de políticas públicas que permitan incrementar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad ante impactos climáticos.

Lo anterior bajo el contexto y objetivos de la CoP 21 sobre la necesidad de presentar contribuciones determinadas a nivel nacional, así como desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático y sobre el estudio de metodologías para evaluar las necesidades de adaptación con el fin de prestar asistencia a los países en desarrollo sin imponer una carga indebida. También vinculado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) que hacen un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger al planeta y garantizar la paz, reconociendo que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad medio ambiental, económica y social.

Además, el sector agrícola es importante para las estrategias de desarrollo en cada uno de los países por la importancia inherente de proveer alimentos para la humanidad a corto y largo plazo. La importancia de los cambios en el sector agrícola ante el cambio climático es fundamental para las estrategias futuras de desarrollo, de ahí la importancia de la CMNUCC, el FMAM y FECC en el énfasis en determinar los costos de adaptación en el *sector alimentario*, debido a que tiene la segunda partida más grande de fondos para financiamiento con la finalidad de disminuir los efectos del cambio climático en la producción de alimentos.

Bajo este ámbito surge la necesidad de comprender mejor cómo afecta el cambio climático a la producción de maíz en grano de temporal a nivel nacional y en el caso de Michoacán, cuarto productor, ya que éste grano es esencial en diversos aspectos para nuestro país; y, en esa manera, contribuir a definir elementos que posibiliten establecer una metodología para calcular los costos de adaptación. De ahí la justificación para realizar la presente investigación.

Además, se intenta abonar conocimiento que permita contribuir y tomar acciones ante el cambio climático, y que aporten al cumplimiento de los Objetivos del

Desarrollo Sostenible³ (ODS), donde la participación de los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil es importante para el cumplimiento de las metas.

Bajo dicho escenario la presente investigación tiene como objetivo determinar la manera en que influye el cambio climático en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en el caso de Michoacán y establecer las bases metodológicas para determinar los costos de adaptación en la producción de maíz en grano en Michoacán. Para ello se desarrollaron seis capítulos.

El primer capítulo está destinado al maíz y su importancia en la cultura y en la economía del país. En esta sección se habla sobre el origen del maíz y su relevancia como parte de la cultura mexicana, explícita en una diversidad de rituales y ceremonias relacionadas con el maíz. También se aborda la producción y el consumo actuales que se tienen de este grano básico en la alimentación de nuestro país, sin omitir la vasta biodiversidad del grano prevaeciente, y cómo se desarrolla la Revolución Verde en México, lo que conlleva a considerar el maíz transgénico.

En el segundo capítulo sobre el origen del cambio climático, se trata el calentamiento global, explicándose qué se entiende por ello, así como la definición de varios conceptos relacionados. Se abordan las diferentes posturas que explican el origen del cambio climático, llegando la postura institucional sobre el cambio climático, y como se identifican los límites del ecosistema global, existiendo evidencias en el planeta que prueban que se han sobrepasado dichos límites.

³ Es una iniciativa de la Agenda 2030 impulsada por las Naciones Unidas y PNUD para dar continuidad a la agenda de desarrollo tras los Objetivos de Desarrollo del Milenio. La Agenda incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que reclaman a todos los países, ricos o pobres, adoptar medidas para frenar esta situación de emergencia climática y social que vive el planeta, siendo importante la participación de todos los sectores de la sociedad. La finalidad es acelerar la acción para frenar la crisis climática promoviendo medidas de mitigación y adaptación. Los 17 objetivos son: 1 fin de la pobreza, 2 hambre cero, 3 salud y bienestar, 4 educación de calidad, 5 igualdad de género, 6 agua limpia, 7 energía asequible y no contaminante, 8 trabajo decente y crecimiento económico, 9 industria, innovación e infraestructura, 10 reducción de las desigualdades, 11 ciudades y comunidades sostenibles, 12 producción y consumo responsables, 13 acción por el clima, 14 vida submarina, 15 vida de ecosistemas terrestres, 16 paz, justicia e instituciones sólidas y 17 alianzas para lograr los objetivos.

En el tercer capítulo, se aborda como el modelo de desarrollo contribuye con el cambio climático, y ante dicha situación sobresale la importancia de la vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático, y los impactos de éste en la agricultura. Además, se abordan los modelos de circulación general más utilizados en el planeta para realizar pronósticos del clima.

En cuarto capítulo se presentan los fundamentos metodológicos de la investigación. Se identifican las variables sujetas de estudio, se especifican las herramientas metodológicas utilizadas y se reconocen las limitaciones y supuestos implícitos en la utilización de las herramientas metodológicas.

El quinto capítulo destinado a los resultados de la investigación, se presentan los hallazgos que se obtuvieron con la implementación de las herramientas metodológicas.

El sexto capítulo se reserva a la discusión de los resultados obtenidos, contrastándolos con otras investigaciones mencionados en capítulos anteriores. Y finalmente se llevan a cabo las conclusiones y recomendaciones que surgen de la presente investigación.

CAPÍTULO I. EL MAÍZ EN LA CULTURA MEXICANA

En el presente capítulo se aborda el origen que tiene el maíz y la importancia que tiene en la cultura mexicana. También se aborda la producción de maíz que se tiene a nivel nacional, así como su consumo y cuáles son los principales estados productores de este grano. Se menciona la importancia de la biodiversidad que existe en nuestro país, abordando el tema de los transgénicos y las repercusiones que existen para las diversas variedades prevalecientes en México.

1.1 Características y usos del maíz

El maíz, cuyo nombre científico es *Zean Mays*, se caracteriza por ser un cereal saludable, siendo una gramínea con tallo muy parecida a la caña pero macizo en la parte interna, esto lo diferencia de otros componentes de la familia. Se distingue por su inflorescencia femenil conocida como mazorca, donde se encuentran las semillas y granos del maíz, con una aglomeración a lo largo de un eje. La mazorca esta recubierta por brácteas de color verde con una textura papirácea que termina con una clase de copete o penacho de color amarillo oscuro.

Esta gramínea tiene propiedades importantes, por ejemplo, el maíz nixtamalizado tiene beneficios físicos, nutrimentales y sensoriales derivados del proceso de nixtamalización. Los maíces criollos nixtamalizados se caracterizan por tener valores altos en minerales como el hierro, cobre y zinc, llegando a ser razones importantes para elaborar la tortilla. Esto hace que las tortillas sea un alimento que aporte cantidades significativas de calorías, proteínas, fibra y minerales. Sin embargo, su composición y el valor nutricional dependen del genotipo, ambiente y manejo agronómico (González *et al.*, 2016).

El maíz, específicamente su variedad morada, se caracteriza por ser un antioxidante natural que retarda el envejecimiento celular, ello debido a la cianidina-3- β -glucósido, pelargonidina-3- β -glucósido, peonidina-3- β -glucósido, ácidos fenólicos, quercetina y hesperidina (Salinas *et al.*, 2013). Dicha propiedad

farmacológica, que contrarresta los efectos nocivos de los radicales libres, estrés oxidativo y la carcinogénesis, ello debido a la gran cantidad de pigmentos antioxidantes, magnesio y vitaminas (A, E, B1, C, piridoxina y niacina), que lo dotan de una calidad nutricional superior a la del maíz típico, además, contiene altos niveles de carbohidratos de fácil digestión, todo ello ha sido validada por diversas investigaciones (Castañeda, 2011, Rachelle *et al.*, 2014; Salinas *et al.*, 2013; Bhornchai *et al.*, 2014).

El maíz con alta calidad (gen mutante paco o2o2) tiene una calidad proteínica similar al de la leche (Bressani, 1994), debido a que este maíz contiene entre 40-50% más lisina y 35-40% más triptófano (Larkins *et al.*, 1994).

Otras propiedades que se le atribuyen al maíz es su contribución al sueño y ha asimilar y transformar las grasas, por tener inositol, rico en betacaroteno (antioxidante), abundante en fibra disminuyendo dificultades intestinales.

Además, el uso que se le da a la planta del maíz es integral (Castañeda y García, 2007). En determinadas regiones se utiliza como medicina: pozol agrio (contiene penicilina) ayuda a mejorar el estado de salud; el maíz quemado contrarresta las hemorragias nasales; el té de cabellos de maíz se utiliza para curar padecimientos renales; el atole de masa compensa el insomnio; el carbón de la tortilla blanquea los dientes, etc. (Gómez, 1982). Se le atribuye una propiedad antiinflamatoria (Wang y Mazza, 2002; Vuorela *et al.*, 2005). En el caso específico del maíz morado, se caracteriza por tener 10 veces más antocianinas que otras plantas. Se ha demostrado que la cianidina 3-glucósido, antocianina presente en el maíz morado, elimina el 7,12-dimethylbenzo antraceno, que induce la carcinogénesis mamaria (cáncer de mama), pudiendo llegar a ser un agente quimioterapéutico prometedor (Fukamachi *et al.*, 2008). También se le asocia con la reducción de la presión arterial (Arroyo *et al.*, 2010).

Otra forma de utilizar el maíz morado, por su alto contenido de antocianina, es como antioxidante en alimentos embazados, como la mayonesa, donde se

demuestra el efecto antioxidante, proveniente del maíz morado, comparado con los antioxidantes químicos como el BHT y EDTA (Chun *et al.*, 2013).

En el ámbito culinario, especialmente en México, América Latina y África Sub-Sahariana, donde es un alimento básico, el maíz es utilizado de distintas maneras y como insumo en la preparación de diversos alimentos como: Harina de maíz, Atole de maíz, Aceite de maíz, Masa de maíz, Granos para Pozole, Tortillas de maíz, Palomitas de maíz, Cereales, Azúcar o Glucosas (de algunas clases de maíz dulce), Elotes, Pizza, Tamales.

También se utiliza el maíz como forraje para el ganado, principalmente en las vacas lecheras y animales de tiro. La utilización del forraje se lleva en varias etapas del crecimiento de la planta, especialmente en el momento de la emisión de la panoja. Los granos en estado pastoso también son adecuados para el forraje (Paliwal, 2001).

En el ámbito industrial, el maíz también es utilizado, caso de los productos alimenticios sujetos a procesos industriales y manufacturados y comercializados, como las harinas de maíz, masa, varios bocadillos, cereales para el desayuno, espesantes, pastas, jarabes, endulzantes, aceite de maíz, bebidas sin alcohol y cerveza. Pero también se utiliza en la industria del almidón, fibras, etanol y aceites de maíz a partir del germen (Paliwal, 2001).

1.2 El origen del maíz y su importancia en la cultura mexicana

En nuestro país la población con desnutrición es aproximadamente 31 millones de personas, de los cuales 18 millones padecen desnutrición severa (Espinosa *et al.*, 2006), dentro de ellos 10 millones son indígenas y 8 millones corresponden a población urbana con bajos ingresos. El 30% de ellos son niños menores de 5 años de áreas urbanas y el 50% de rurales (Espinosa *et al.*, 2006; Chávez y Chávez, 2004).

Los cereales son muy importantes en la alimentación de las personas en el mundo, siendo el maíz reconocido por su valor nutricional, que es similar a otros

cereales, superior al trigo y ligeramente menor al arroz (Sansano, 2008). Estos tres cereales son los más consumidos a nivel global por su calidad nutricional humana y animal (Khalili *et al.*, 2013; Aikins *et al.*, 2012). Varios países lo utilizan para forraje debido a su alta producción de rastrojo (Muñoz *et al.*, 2013; Alikwe *et al.*, 2014), consumo de la población, materia prima de alimentos procesados y producción de etanol. Además de ser considerado uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen (Acosta, 2009). En los países desarrollados el maíz se destina principalmente para fines industriales y alimentación animal, en otros países, entre ellos México, es esencial para el consumo humano (Castañeda, 2009).

El maíz tiene su origen en México y posteriormente se extendió hacia otros lugares de América. Este grano surgió entre los años 8,000 y 6000 A.C. en México y Guatemala (Mesoamérica), posiblemente a 500 km de la ciudad de México, en un ecosistema montañoso (cuestas empinadas y sobre roca caliza) de invierno seco estacional alternado con lluvias de verano (Wilkes *et al.*, 1995; Acosta, 2009).

Otros autores mencionan que el maíz se domesticó hace 9,000 años, existiendo una tradición muy arraigada cultural e históricamente por sus diversos usos, fundamentalmente alimenticios (Helling *et al.*, 2013; Ortiz *et al.*, 2013; Vázquez *et al.*, 2003). Este grano se ha mejorado y cultivado partiendo de los procesos de selección que obedecen a las necesidades y gustos del hombre, lográndose una vasta variedad de maíz, contemplando las variedades locales como mejoradas (Rodríguez *et al.*, 2016). La domesticación del maíz dependió totalmente del ser humano, cuya transformación eliminó por completo las características ancestrales de sobrevivencia en la naturaleza (Acosta, 2009).

En ese sentido Wilkes *et al.* (1988) menciona que México es el centro primario de diversidad genética seguido de la zona andina, donde el cultivo ha mostrado una evolución acelerada. De las 50 razas encontradas en México⁴, siete se han encontrado en Guatemala, seis en Colombia, cinco en Perú y dos en Brasil, siendo

⁴ Urrieta (2012) menciona que en total se han encontrado 59 razas y miles de variedades de maíz reconocidas en México, adaptándose a diferentes condiciones climáticas y con distintos usos.

México el centro de difusión con aproximadamente 27 o más de las especies que han permanecido como variedades locales endémicas (Acosta, 2009). Por ello, se reconoce a México como el centro de origen del maíz y como el cuarto país más rico en diversidad agro biológica por otras especies como el algodón, jitomate, mamey, agave, etc. que llegan a ser un patrimonio especial para el país (Sarmiento y Castañeda, 2011). Bejarano y Segovia (2000) realizaron una clasificación del maíz basada en la textura o estructura del endospermo considerando siete grupos: maíz tunicado, maíz reventón, maíz cristalino, maíz amiláceo, maíz dentado, maíz dulce y maíz ceroso.

Actualmente el maíz local tiene un gran interés científico desde el enfoque de conservación, manejo, cultura, comercialización y mejoramiento. Incorporándose estudios referentes a la caracterización molecular y potencialidades de uso (Hernández, 2014).

Adicionalmente el cultivo ha garantizado su reproducción biológica y cultural, y la venta del excedente de maíz representa un recurso adicional para adquirir otros alimentos. Por ello el maíz ha garantizado la seguridad alimentaria familiar principalmente en el sistema agrícola conocido como milpa (Damian, 2016). Especialmente el maíz nativo se ha instaurado como la base de la alimentación en la mayoría de la población mexicana, y en las expresiones culturales desarrolladas por las comunidades en torno al maíz, consideradas como una riqueza social invaluable (Sarmiento y Castañeda, 2011).

En Mesoamérica el maíz desempeño un papel determinante para la alimentación y fue centro de diversas veneraciones, dejando plasmada su importancia en distintas regiones, tanto en su cultural como en los dioses vinculados en torno al maíz, manifiestas en esculturas y pinturas que datan desde el preclásico hasta la llegada de los conquistadores españoles.

En el libro de La Historia de México, se menciona un mito donde el maíz nació de los amores de *Xochiquetzal* y *Piltzintecuhtli*, debajo de la tierra, esto hace referencia al acto de plantar la semilla en la oscura humedad a partir de donde se

daría vida, haciendo semejanza a como el feto la adquiere en el húmedo útero humano (Camargo, 1966).

En el período Colonial, se tiene representaciones gráficas en la tradición autóctona mesoamericana, que se documentaron mediante las tradiciones, y entender la que la planta no solo fue parte del alimento, también fue importante en las cosmogonías y como parte de las religiones prehispánicas.

En ese contexto, en el *Popol Vuh* los dioses, después de experimentar con diversas sustancias, crean a los hombres mayas de masa de maíz (1984). Y en la leyenda de los soles, relatada en el *Códice Chimalpopoca* (1945), se relatan las peripecias por la que paso Quetzalcóatl para conseguir los granos de maíz, que serían el alimento vital de los hombres en la era del Quinto Sol. Es así que, a través de distintos cronistas, en su mayoría religiosos, se conoce la naturaleza, características y deidades relacionadas con el maíz, que datan del periodo posclásico.

La gran cantidad de mitos y tradiciones en torno al maíz como parte de las sociedades indígenas contemporáneas ratifican la importancia del grano, no solo como un elemento relevante en la dieta de los indígenas, mestizos o ladinos, también como parte de rituales y ciclos de festividades religiosas llevadas a cabo en los pueblos indígenas campesinos.

El maíz también se encuentra manifiesta en la cultura olmeca, que fue redactada por Alfonso Medellín Zenil (1960). En ese sentido Coe (1969) asocia la planta de maíz con el adorno que llevan en la frente del tocado de los personajes de Chalcatzingo, Morelos y con el relieve de Xoc en Ocosingo, Chiapas. En ese mismo sentido, Coe identifica como Dios II, dentro de las seis deidades olmecas, asociado con la vegetación, especialmente el maíz, debido a que brotan de la cabeza símbolos de maíz en todas las representaciones del Dios II. También se identifica al Dios IV (Dios de la lluvia en la cultura olmeca), el cual tiene una hendidura en la cabeza de la cual brota el maíz (Gómez y Courtes, 1987).

Después de la culminación de la cultura olmeca, el culto relacionado con el maíz se trasladó a diferentes regiones y culturas mesoamericanas, encontrándose deidades al maíz en diferentes sociedades indígenas mesoamericanas. Tal es el caso del yacimiento arqueológico *Izapan* en donde la estela 67 se encuentra la representación del elemento distintivo del dios olmeca del maíz (Norman, 1973).

En ese mismo sentido, en Teotihuacán se vincula una deidad del agua y otra del maíz, en donde mediante un mular en el Palacio de *Zacuala* se encuentra representado *Yacatecutli* con atributos de Tláloc, el cuál lleva una carga de mazorcas en la espalda y en una mano lleva una planta de maíz (Miller, 1973).

En la cultura de los zapotecas, el dios del *Glifo L* del complejo del maíz es relacionado con *Pitao Cozobi* (dios de los mantenimientos), ambas deidades caracterizadas por llevar mazorcas en el tocado (Caso, 1952). También en el panteón zapoteco, en Oaxaca, se identifica en los siglos XVI y XVII una deidad del maíz denominada *Locucui*, dios del maíz y toda la comida (Alcina, 1972).

En el imperio maya también se encuentra diversas deidades relacionadas con el maíz, tal es el caso del dios del maíz *Yum Kaax*, cuya deidad se caracterizaba por mostrar en la cabeza una foliación del maíz emergiendo del glifo (Schellhas, 1904).

En el caso de los aztecas también se encuentra una diversidad de deidades, caso de *Chicomecóatl*, diosa de todos los sustentos, caracterizada por portar mazorcas en las manos. Otra deidad es las “7 Mazorcas de Maíz” (Caso, 1953), quien tenía unos de los cantares antiguos, el Canto de la Diosa del Maíz (Sahagún, 1938), referido a la época de la siembra, que acorde al pensamiento indígena en algunos lugares se refiere al mundo de la abundancia debajo de la superficie terrenal y de algunas montañas (García de León, 1969), para después nacer como *Xilonen-Chicomecóatl*, que significa “madre maíz”. También a *Centóotl* (cuyo significado es Dios del Maíz) se le consideraba hijo de *Tlazoltéotl*, esposo de *Xochiquétzal* (Meade, 1948). En *La Historia de México* se cuenta que los dioses descendieron a una caverna, donde un dios llamado *Piltzintecutli*, niño noble o divino, estaba

acostado con una diosa llamada *Xochipili*, de la cuál nació un dios llama *Cintéotl*, cuyo significado es maíz divino o Dios mazorca (1973).

El maíz en México ocupa un lugar fundamental en la prácticas rituales como en representaciones religiosas. Tal es el caso de la Sierra de Puebla, donde prevalece un vínculo positivo entre el cultivo de maíz y la identidad indígena, que es escenificada en las danzas rituales totonacas y nahuas, y en las de los *huehues* (Ellison, 2007).

La cosmología del maíz, más allá de tener diferentes variantes en los mayas, nahuas y otras culturas, tienen en común que este grano fue utilizado por los dioses para formar el cuerpo de los seres humanos en su último y exitoso intento de creación. Por ello los totonacos consideran a la humanidad como formada a base de maíz, llamando *kuxi* al grano maduro, o también *kin tiyatliway*, cuyo significado es nuestro cuerpo (Govers, 2006).

Aunque la palabra *tiyatliway* significa carne de la tierra. Por ello se dice que el maíz es nuestra carne de la tierra, prevaleciendo una misma naturaleza entre el maíz y el cuerpo humano, como es mencionado en los mitos de las religiones prehispánicas. En ese mismo sentido, los totonacos consideraban que entre la planta y los humanos compartían el alma (*Ídem*).

Esta naturaleza compartida entre la planta y los humanos es extendida a Dios a través de la figura del santo patrón de Huehuetla, Jesús San Salvador, patrón relacionado con las cosechas del maíz. De manera que la expresión “cuerpo de cristo” como se menciona en la eucaristía, se traduce al totonaco como “nuestra carne de la tierra, *kin tiyatliway*” (Ellison, 2004; Sahagún, 1999).

Es así que, la co-esencia entre los seres humanos, el maíz y Dios, se fundamente en un elemento común: compartir una misma fuerza vital, *listakni*, cuyo significado totonaca es ánima o espíritu, aunque la traducción literal de *listakni* es “lo que hace crecer” (Sahagún, 1999).

Referente a la parte alimenticia, el maíz se encuentra presente en la comida en nuestro país, principalmente en el medio rural e indígena, e indispensable en la comida ritual, ya sea de una simple comensalidad ceremonial en las cosechas, en los banquetes de mayordomía para las fiestas patronales, en las ofrendas a los difuntos el día de muertos o en las posadas para la Virgen en navidad. En estos últimos eventos, el maíz no se consume en tamales el día de muertos, y en atole el día de la Virgen (Vassas, 2001).

En la época prehispánica, los totonacas recibieron admiración de los Mexicas por su gran variedad de recetas para elaborar diferentes tipos de tamales. Los tamales llegaron a ser la comida ritual de los muertos, por ello su preparación debía ser precisa, ordenada y reglamentada (Lozada, 2004).

En el caso de los nahuas de Pahuatlán, durante el periodo de siembra del maíz, se ofrece en diciembre un *Tlakualtlistli*, que significa “el acto de dar de comer” en agradecimiento por la mazorca que se cosechó.

El mito de mayor difusión a sido el de Quetzalcóatl, quien se convirtió en una hormiga negra para entrar en el Tonacatépetl (Cerro de Nuestra Carne), lugar donde las hormigas rojas guardaban el maíz, para lograr obtener los granos y alimentar a los hombres, según la Leyenda de los Soles (Chimalpopoca, 1975).

Actualmente en Tepoztlán, Morelos, a finales de septiembre se celebra la fiesta del maíz verde, conocida también como la costumbre el pericón, en la cual se festeja la aparición de la mazorca tierna, los jilotes, elaborándose tamales especiales con fruta, sal y pelos sedosos el maíz (Grigsby, 1992).

En las ceremonias prehispánicas y mucho tiempo después, el maíz también formaba parte, por ejemplo, se utilizaban grano de maíz para adivinar la causa de una enfermedad, el curandero ponía los granos dentro de un vaso con agua, y la forma en que flotaban o caían los granos hasta el fondo le indicaba algo sobre la enfermedad. Otra forma era poner los granos en una tela doblada, utilizando diez de los más hermosos de una mazorca, echándolos al aire para después tomarlos

y decir una invocación al “precioso Siete Culebras” pidiendo la aclaración sobre el padecimiento. Finalmente echaban al aire los granos y según como caían estos, sabrían si se aliviaría el paciente o moría (Ruiz de Alarcón, 1953; Mendieta, 1945).

Otra forma de rituales donde se utilizaba el maíz era cuando una persona tenía “calentura recia”, se elaboraba una figura de un perrito de masa de maíz, se colocaba en una penca de maguey y la sacaban por la montaña al camino y se decía que el primero que pasara por allí se llevaría la enfermedad pegada en los zancajos (Mendieta, 1945).

Cuando los niños enfermaban, se acostumbraba que los padres hacían una oración a *Chicomecóatl*. Además, el curandero sacrificaba una gallina frene al lugar donde el maíz se estaba secando o delante de la troje, después preparaban la gallina para comer, cocinando tamales y pulque, de manera que el curandero ofrecía la mitad al fuego y la otra mitad al maíz, mientras se quema el copal (Ponce de León, 1973).

Otra de las ceremonias era el utilizado para pedir una buena cosecha, para ello se esparcía maíz de cuatro colores hacia los cuatro rumbos del mundo. Asociando la dirección con el nombre calendárico del lugar, a la parte oriente, a la casa, otro a la parte del occidente, a la casa, otra a la parte norte, al pedregal y a la parte del medio día, al conejo. Esta ceremonia se realizaba en el mes XIII *Coáhuítl* que era la “Fiesta general de toda la tierra” (Durán, 1967).

Uno de los ritos dedicado a *Xochiquetzal*, una diosa de la vegetación, consistía en que cuatro sacerdotes, cada uno con una jícara en la mano, subían a una piedra llamada *cuauhxicalli*, donde el sacerdote que tenía el maíz negro derramaba, imitando que sembraba, los granos en la dirección del monte. Seguía el sacerdote con el maíz blanco que también derramaba el grano hacia la cementera de los llanos. Después, continuaba el sacerdote con el maíz amarillo derramado hacia la laguna y, por último, el maíz morado esparcido hacia Amilpan (chinampas). Una vez terminado de sembrar simbólicamente estos cuatro tipos de maíces, según los rumbos que les correspondía, la gente corría a levantar algunos granos, para

guardarlos con cuidado y después sembrarlos, teniendo semilla de aquel maíz bendito. Una vez terminada esta ceremonia, se realizaba el baile con las jícaras, participando todo los señores y dignidades de los templos, llevando en las manos y acuestas jícaras grandes, verdes y coloradas, y colores del maíz y de la vegetación en general (Durán, 1967).

De manera que, a través de las diferentes representaciones en diversas culturas en México, se identifica claramente una veneración al maíz, observable en las tradiciones y expresadas en ritos y ceremonias de distintas formas en el tiempo.

1.3 La biodiversidad del maíz en México

El modelo prevaleciente de agricultura industrial en México era incipiente, pero al llegar la Revolución Verde, se tuvo una pérdida importante en la diversidad del maíz, calculándose que, de las variedades existentes en 1930, actualmente solo se encuentran el 20%.

En la diversidad de los maíces de México, se pueden reconocer cuatro factores involucrados: 1) razas primitivas, en donde algunos países como Perú, se catalogan como reliquias arqueológicas, y en nuestro país son consideradas variedades actualmente vivas; 2) en ciertas épocas de la historia del cultivo se ha registrado la influencia de variedades exóticas de países del sur; 3) el teocintle se ha cruzado en forma natural con el maíz en México y en regiones adyacentes de Guatemala, y ha introducido nuevas características y nuevas variaciones a los maíces de ambos países; 4) la geografía de México favorece la rápida diferenciación, ya que posee varias clases de factores aislantes (Massieu y Lechuga, 2002).

El maíz en México tiene un interés fundamental debido a que ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de variedades modernas y altamente productivas de América, principalmente en la faja maicera de los EUA. Por tanto, la clasificación del maíz en México tiene un interés no solo para el mejoramiento

del cultivo, sino también para los genetistas, y en la actualidad para la ingeniería genética y la industria agrobiotecnológica.

Se dice que existe la posibilidad de la nula existencia de una raza “pura” de maíz en el sentido de que todos los individuos que componen dicha raza sean homogéneos genéticamente. Cabe mencionar que en las variedades de maíz de polinización libre, es posible que cada planta sea ligeramente diferente en su genética de todas las demás plantas.

En nuestro país se pueden reconocer mínimamente 25 razas de maíz, permitiendo que todos los maíces pueden ser asignados a una de estas razas ya reconocidas. Posiblemente la mayoría de las variedades recolectas en nuestro país son producto de dos o más razas.

1.4 La producción y consumo de maíz en México

La producción de maíz que se tiene en nuestro país se realiza en zonas agrícolas clasificadas en valles muy altos (mayor a 2600 msnm), valles altos (entre 2200 y 2600 msnm), zonas subtropicales (entre 1200 y 1900 msnm) y zonas tropicales (menores a 1200 msnm). Cada una de estas regiones, donde se cultiva el maíz, obedecen a diferentes especies, según el programa de mejoramiento genético de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Ruiz *et al.*, 2010). Además, la mayor parte de las regiones donde se cultiva el maíz dependen del riego de temporal y de campesinos que destinan su producción al autoconsumo, lo que ha propiciado que su agricultura ofrezca una diversidad genética muy amplia (Kato *et al.*, 2009).

En nuestro país la superficie cosechada para la producción de maíz no tuvo cambios significativos entre el período 1970-1996, ya que aumentó solo 8.2% pasando en 1970 la superficie en hectáreas de 7,439,634 a 8,050,931 en 1996, lo cuál tuvo un comportamiento similar en cuanto al aumento poblacional. Sin embargo, en el mismo período las importaciones del maíz incrementaron ocho veces, lo cuál significó que los incrementos en la productividad no fueron

suficientes para satisfacer la demanda total, además de constatar que la apertura comercial del maíz no explica las importaciones frecuentes del grano, ya que estas le anteceden (Massieu y Lechuga, 2002).

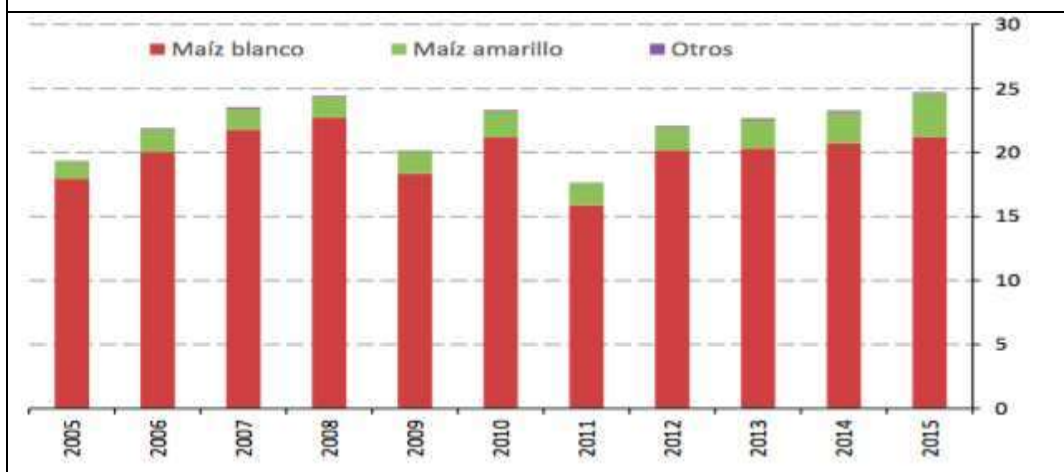
En el año 2002 el cultivo de maíz en México abarcaba el 57% de la superficie destinada a la siembra de granos básicos y oleaginosas, absorbiendo a más de 2.5 millones de agricultores, que contribuyeron con más del 50% de los 18 millones de toneladas que se produjeron en nuestro país. El consumo nacional se encuentra entre 16 y 20 millones de toneladas, del cuál 64% provienen del método tradicional maíz-masa-tortilla y el 36% de la industria de harinización, importándose aproximadamente el 20% (SAGARPA, 2008).

La CONABIO (2009b) estima el consumo promedio diario de maíz en 350 gramos diarios per cápita, en aproximadamente 600 presentaciones diferentes en la alimentación, generando con ello esta actividad una tercera parte del valor que aporta la agricultura, ocupando un poco más del 50% de la superficie cosechada, caracterizada por ser un cultivo principalmente de zonas de temporales, que contribuyeron con el 65% de la producción en 1997 y con el 85% de la superficie total dedicada al maíz (SAGARPA, 2018).

El cultivo de maíz se caracteriza por ser principalmente de pequeños productores, cerca del 92% se ubican en predios menores a 5 hectáreas, y el autoconsumo representa una proporción significativa (35% de estos minifundios). En la última década el 69% del maíz que se comercializaba se producía en predios entre 2 y 10 hectáreas.

La producción del mercado nacional de maíz, para el año 2015 fue de 24.95 millones de toneladas, el nivel más alto en los últimos quince años, registró un crecimiento del 6.1%, mostrándose un incremento mayor en la producción de maíz blanco. Sin embargo, pese a tener una menor representación la producción de maíz amarillo, este registró un incremento de 6.7% entre el período 2005-2015 (ver gráfico 1).

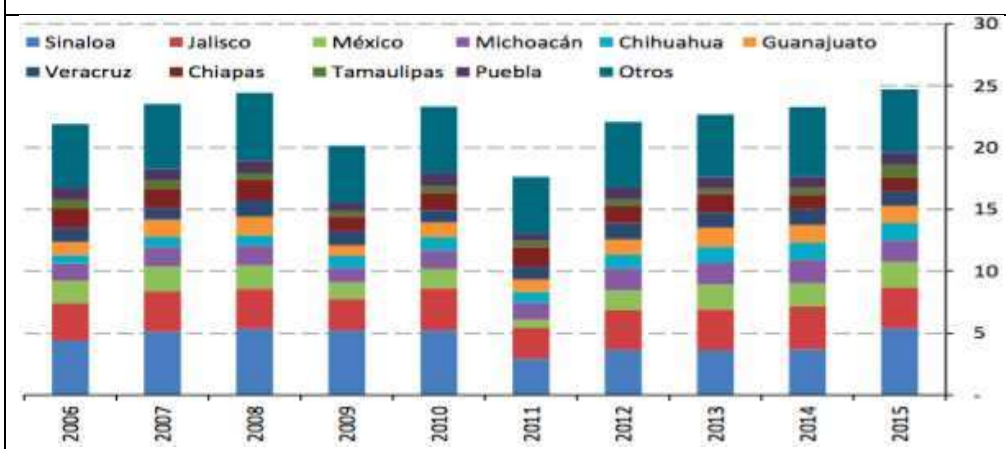
Gráfico 1. Producción de maíz grano en México por tipo, 2005 – 2015 (millones de toneladas por año agrícola).



Fuente: SAGARPA. (2018). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de la Producción Agrícola. Consultado el 20 de junio del 2018. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

Entre principales estados productores de maíz en México para el período 2006-2015, se encuentra en primer lugar Sinaloa con el 21.8% equivalente a 5.3 millones de ton., seguido de Jalisco con 13.5% equivalente a 3.3 millones de ton., y el Estado de México con 8.2% equivalente a 2 millones de ton. (ver gráfico 2). Fueron 10 estados los que concentraron el 80% de la producción nacional de maíz grano.

Gráfico 2. Principales estados productores de maíz grano en México, 2006 – 2015 (millones de toneladas).



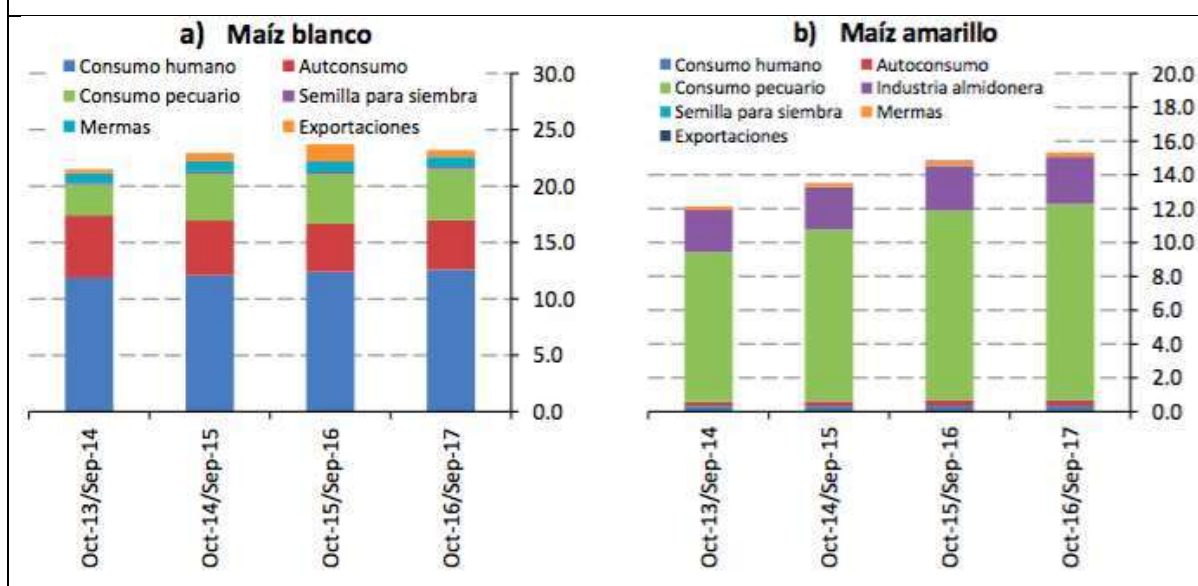
Fuente: SAGARPA. (2018). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de la Producción Agrícola. Consultado el 20 de junio del 2018. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

Analizando el consumo de maíz que se tiene en nuestro país, entre 1970 y el 2000, aproximadamente el 60% de la producción, considerando el autoconsumo rural, se destinaba para el consumo humano, donde la tortilla aportaba con más del 50% de las calorías y aproximadamente un tercio de las proteínas consumidas por la población. Al analizar el sector rural, la cifra incrementaba al 65% de las calorías aportadas por el maíz y entre el 50 y 70% de las proteínas. En la actualidad, el consumo de maíz ha aumentado debido a fines pecuarios y avícolas, que absorben el 26% del total consumido (SAGARPA, 2018).

En cuanto al consumo nacional de maíz entre el período 2014-2017 se registró un mayor consumo de maíz blanco, destinado para consumo humano, que representó el 54.3% del consumo total. El maíz amarillo, destinado principalmente para el consumo pecuario, representó el 75.7% del total consumido, también es utilizado en la industria almidonera, ver gráfico 3 (SAGARPA, 2018).

En el intercambio internacional, México ha registrado una balanza comercial de maíz negativa entre los años 2005 y 2015, incrementando constantemente las importaciones de maíz. Estados Unidos es el principal proveedor de este grano, solo para el año 2015 las importaciones fueron de 11,792.6 millones de toneladas, con un valor de 2,319.2 millones de dólares. Cabe mencionar que la producción de maíz ha incrementado ligeramente entre los años 2006-2016. Sin embargo, ello se debe a que han aumentado en las zonas agrícolas bajo riego (Byjesh *et al.*, 2010; Hawkins *et al.*, 2013). A pesar de ello, el maíz en condiciones de riego no queda exento del cambio climático en el futuro, puesto que la disminución de agua afecta a la agricultura, ya que esta actividad es la que mayor consumo de agua tiene en el planeta (Blignaut *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2012).

Gráfico 3. Consumo de maíz grano en México, 2014 – 2017 (millones de toneladas).



Fuente: SAGARPA. (2018). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de la Producción Agrícola. Consultado el 20 de junio del 2018. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

1.5 La Revolución Verde y su investigación sobre el maíz

La Revolución Verde nace en Estados Unidos, producto de investigaciones para la creación de semillas híbridas, fue un modelo a nivel mundial con el fin de obtener altas tasas de productividad en el sector agrícola, sobre la base de una producción extensiva en gran escala y con la implementación de alta tecnología. El soporte principal fue la selección genética de nuevas variedades de cultivo de alto rendimiento, asociadas con la explotación intensiva, gracias a la utilización del riego y el uso intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas, tractores y otro tipo de maquinaria pesada. Este suceso fue considerado como un cambio radical en las prácticas agrícolas, definido como un proceso de modernización de la agricultura, denotándose el conocimiento tecnológico en el campo, manifestado en agro tóxicos, fertilizantes inorgánicos y principalmente máquinas agrícolas, como el tractor. Dicha revolución inicio a principios de la Primera Guerra Mundial, pero se expandió a partir de 1950 (Ceccon, 2008).

En México fue a partir de la década de los años treinta que se comienza con las investigaciones sobre como incrementar la producción de alimentos en nuestro país, de manera que la Secretaria de Agricultura fundo un pequeño departamento de estaciones experimentales, cuyo financiamiento se encontraba a cargo del cardenismo⁵, en busca de cambios en la estructura agraria. Fue hasta 1960 que se funda el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA). En los gobiernos posteriores a Lázaro Cárdenas del Río, su labor fue considerara como importante para incrementar la producción en el sector privado de la agricultura mexicana y proveer un excedente que permitiera alimentara las ciudades en crecimiento acelerado. Esto implico que se abandonara el objetivo de resolver los problemas existentes en las pequeñas parcelas campesinas y hacer frente a la pobreza de la población rural. De manera que, los resultados de la investigación terminaron beneficiando a los pocos oasis de riesgo del país (Massieu y Lechuga, 2002).

Con la tecnología desarrollada mediante la Revolución Verde, los que obtuvieron el beneficio fueron los trigueros, sin embargo, para los maiceros de subsistencia su situación precaria en escasez de recursos productivos y pobreza no mejoró.

Ante esta situación, veinte años después de estar en marcha el programa conjunto de asistencia técnica en 1943 la producción de trigo en nuestro país mejoró notablemente, pero el rendimiento promedio del maíz era uno de los más bajos (Hewitt, 1978).

La productividad elevada de las semillas híbridas dependía de una combinación adecuada de recursos escasos, ya que la ventaja especial estaba condicionada a una respuesta positiva respecto a los fertilizantes, que se empleaban con eficiencia en las zonas que contaban con un suministro de agua regular y adecuado.

⁵ El cardenismo fue un movimiento político asociado a la figura del presidente mexicano Lázaro Cárdenas, quien gobernó el país entre 1934 y 1940. Ese periodo presidencial se caracterizó por las reformas efectuadas en todos los ámbitos, desde el social hasta el cultural, pasando por el político y el económico. mantuvo en la economía un enfoque nacionalista y socialista. Su medida más importante fue la nacionalización de la industria del petróleo, algo que provocó muchas fricciones con países como Estados Unidos o Gran Bretaña.

Esta situación limitó el empleo de fertilizantes y semillas mejoradas fuera de las zonas de riego, afectando principalmente el rendimiento promedio de las regiones minifundistas, donde sus problemas persistían y no fueron considerados por la investigación agrícola (Hewitt, 1978).

Años más tarde, en 1963 se fundó el Centro Internacional de investigación para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), cuyo objetivo era continuar a la investigación con financiamiento internacional y aprovechar la diversidad ecológica que tenía nuestro país, para formar un centro de investigación genética.

1.6 El maíz transgénico en México

En los avances sobre agrobiotecnología se han logrado resultados sorprendentes, mediante la manipulación genética sobre semillas, y el maíz es uno de los cultivos que se ha mejorado. En Estados Unidos, es muy habitual la siembra de maíz transgénico, utilizando dos variedades principalmente: BT es una variedad resistente a insectos y se siembra en 7.5 millones de hectáreas a nivel mundial en 1999; la segunda variedad es Bt con resistencia a herbicidas, sembrándose aproximadamente en 21.6 millones de hectáreas en el mismo año (James, 1999).

Sin embargo, la agrobiotecnología ofrece alternativas de semillas mejoradas, pero que se encuentran en controversia dada las características estructurales y agroecológicas específicas de nuestro país. Una de las principales amenazas sobre la utilización de semillas mejoradas es el efecto que tendría sobre la biodiversidad, la bioseguridad, los derechos de propiedad intelectual y el desarrollo tecnológico, etc.

En los países desarrollados es común la utilización de los dos tipos de variedades de maíz transgénico, defendiendo sus creadores que estas variedades incrementarían la productividad ante la disminución de pérdidas de cultivos ocasionadas por plagas. Además, disminuiría los costos de producción al reducir las cantidades de insecticidas, contribuyendo a proteger el medio ambiente. Y

debido a su potencial productivo sería innecesario incrementar la frontera agrícola, contribuyendo en la conservación de ambientes silvestres.

En lo concerniente a los grupos ambientalistas y académicos, argumentan que las plantas, sujetas a modificaciones genéticas, atentan contra la sustentabilidad de los agroecosistemas, ocasionando erosiones genéticas y pondrían en riesgo el acceso libre a la semilla, debido al control que se tiene por las grandes empresas multinacionales agrobiotecnológicas. Adicionalmente, el flujo genético podría tener consecuencias, no predecibles, en los distintos organismos que habitan en los agroecosistemas (Massieu y Lechuga, 2002).

Otro aspecto importante a considerar se debe a que la utilización del maíz transgénico disponible en el mercado no obedece a las necesidades del país, primeramente, por la resistencia que tienen el cultivo a insectos que habitan en nuestro país, y segundo porque el tolerante a herbicidas tiene un precio que no es accesible a la mayoría de los productores (Serratos, 1998). Por tanto, es importante el desarrollo de capacidades científico-tecnológicas que desarrollen que se acoplen a las necesidades y agroecosistemas de México.

Actualmente no se ha permitido la siembra ni la importación de semilla de maíz transgénico, pero éste entra en las importaciones de origen estadounidense. Ya se han encontrado indicios de contaminación de cultivos con maíz transgénico en variedades criollas en Oaxaca en el 2001 (Enciso y Pérez, 2001). Lo cuál era una posibilidad de que ocurriese, ya que no existe una garantía respecto a que el maíz importado para consumo no sea utilizado en la siembra.

Esta situación se torna delicada y grave porque se están esparciendo los transgenes, sin ningún tipo de medidas de control, en parcelas campesinas donde subsiste una alta diversidad de variedades criollas. Esta situación puede llegar a dos consideraciones, riesgos en la salud y riesgos en el medio ambiente.

Aún no se ha confirmado que se presenten daños en la salud de las personas por el hecho de consumir maíz transgénico, y como es una innovación tecnológica con

un período de existencia en el mercado demasiado corto, es más difícil determinar riesgos para la salud por el consumo de los transgénicos.

Resulta muy complicado el controlar de manera efectiva que los alimentos transgénicos sean separados, y no consumidos o sembrados cuando no hay autorización. Situación que se presentó en el caso del maíz *Star Link*, el cuál fue autorizado en los Estados Unidos para el consumo exclusivamente animal. Sin embargo, en dicho país se identificó que dicho maíz causó alergias en los humanos y se detectó en productos destinados para el consumo humano que se habían elaborado en México. Ante esta situación la empresa Aventis, que producía dicho maíz transgénico, tuvo que retirar todos los productos que pudiesen contener *Star Link*, cuya acción le costó varios millones de dólares (Serratos *et al.*, 1996, 2000).

En nuestro país, se tiene un debate en torno a la etiquetación o no de los productos transgénicos, mientras los consumidores ingieren alimentos cuyo contenido contiene transgénicos, principalmente por la soya que se importa de Argentina y Estados Unidos, cuyos países siembran superficies considerables de transgénicos y son utilizados en una gran variedad de alimentos procesados. Y el maíz que se importa de Estados Unidos en un porcentaje significativamente transgénico (Serratos *et al.*, 1996, 2000).

En Oaxaca, como en aquellas partes donde se cultiva, el peligro que representa la contaminación de transgénicos es principalmente ambiental, entre los cuáles se encuentra:

- Los transgenes al tener una resistencia a insectos en los sembradíos de maíz, y como la planta se poliniza de manera abierta, los transgenes se cruzan con las plantas silvestres, convirtiéndose en una plaga difícil de controlar por la resistencia adquirida.
- Al no tenerse un control sobre los cultivos transgénicos, cuya resistencia a insectos es mayor, al estar al campo abierto con otras parcelas

campesinas, las variedades con una alta resistencia a insectos se vuelven dominantes en el territorio, eliminando aquellas especies nativas.

- Los campesinos mexicanos, que tiene una descendencia de agricultores milenarios y además domesticadores del maíz, que realizan un mejoramiento de sus parcelas, para lo cuál siembran distintas variedades y observan su comportamiento ante factores ambientales adversos, como la sequía o las plagas. El hecho de utilizarse maíz transgénico sin su conocimiento, se convierte en un factor externo que les ha quitado autonomía para hacer mejoramiento del maíz, lo cuál atenta contra la seguridad alimentaria de estos campesinos, que consumen lo que siembran, y a la preservación de la diversidad del maíz en nuestro país.
- Además, nuestro país tiene un compromiso de preservar la biodiversidad de especies silvestres, específicamente en el artículo 8G de la Convención de Biodiversidad, en el cuál se menciona que México debe adoptar las acciones necesarias para impedir que el cultivo de transgénicos penetre en especies silvestres.
- Se desconoce si el maíz Bt que se vende en Estados Unidos está diseñado para ser resistente a las plagas existentes en México, y no se descarta que afecte a poblaciones de insectos benéficos.

Es muy probable que exista maíz transgénico en otras regiones de nuestro país, ya que no existe el control y seguridad sobre las importaciones de maíz BT que distribuye la Distribuidora y Comercializadora CONASUPO S.A.⁶ (DICONSA) para consumo, y que sean utilizadas en la siembra.

Además, la producción campesina de subsistencia, prevalece en condiciones cada vez más precarias, que representa entre 20 y 25 millones de personas, donde la agricultura deja de ser su fuente principal de ingresos, pese a que continúan con el cultivo con rendimientos muy pobres, y en zonas de temporal, cuya finalidad es

⁶ Es la red de abasto social más grande de México, que se mueve para garantizar la distribución de alimentos con alto contenido nutricional y económicamente accesibles, en favor de la población en condiciones de marginación.

garantizar una parte de su alimentación. Este tipo de productores, son los que contribuyen a mejorar y conservar la biodiversidad del maíz, y lo realizan como una forma de supervivencia, sin la compensación por el servicio ambiental que prestan (Massieu y Lechuga, 2002).

Además, la tecnología es un factor determinante en la utilización de maíz transgénico, cuyo acceso carece la mayor parte de la producción campesina, llegando a ser una desventaja sustancial acentuándose entre los productores de diferente condición, llegando a socavar las condiciones económicas de los pequeños productores de maíz (Ayala *et al.*, 2006).

Adicionalmente, se tiene una limitación de recursos enfocados a la investigación agropecuaria, principalmente pública, para el desarrollo de variedades transgénicas propias, y adecuadas a los problemas productivos y ambientales que tiene nuestro país, que también se debe en parte a políticas económicas implementadas.

En ese sentido, desde 1997 el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha trabajado en conjunto con productores de maíz, buscando mejoras en sus prácticas productivas y preservando la diversidad genética en las comunidades. Ha realizado investigaciones que examina el flujo de genes entre agricultores y comunidades y el impacto que estos tiene en la diversidad genética del maíz y sus parientes silvestres.

De manera que la opinión respecto a las consecuencias de los granos transgénicos se encuentra dividida. Hay opiniones que argumentan que no existen riesgos, puesto que el maíz mexicano ha coexistido desde hace varias décadas con los cultivos híbridos, producto de la Revolución Verde, hasta aquellas opiniones que expresan la suspensión inmediata de las importaciones. Sin embargo, es urgente el evaluar la utilización y presencia de transgénicos en variedades criollas. Esta situación, se ha estado evaluando por el Instituto de Ecología, la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, el

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

Instituto de Ecología de la UNAM y el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) de Irapuato (Massieu y Lechuga, 2002)

CAPÍTULO II. EL CAMBIO CLIMATICO: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo se abordarán los elementos teóricos en torno al calentamiento global, comenzando por definir los principales factores que intervienen en la determinación del clima, definiendo qué se entiende por variabilidad climática, calentamiento global y cambio climático. Posteriormente, se abordan las posturas que prevalecen en la actualidad en torno al origen del cambio climático y la postura institucional en torno a ello, así como las evidencias que existen sobre el cambio climático.

2.1 Calentamiento global

Actualmente el clima es un concepto que ha tomado gran importancia a nivel global, preocupando a una parte de la sociedad los cambios que se han presentado en nuestro planeta. Pero pocas son las personas preocupadas por conocer cuáles son los factores que determinan el clima en nuestro planeta.

El clima en nuestro planeta se encuentra determinado, primeramente, por la masa total, la distancia de nuestro planeta con respecto al sol y la composición de la atmosfera. Estos factores logran que la temperatura de la tierra, en promedio, sea aproximadamente de -18°C (Miller, 1992). Pero la temperatura media de nuestro planeta es de 33°C , que se logra, debido a nuestra atmósfera, cuya composición se encuentra formada principalmente por el 21% de oxígeno (O_2) y el 78% el nitrógeno (N_2), que sumadas forman el 99% de la atmósfera (Toharia,1984; Voituriez, 1994).

El 1% restante se compone de gases efecto invernadero (GEI), de entre los cuáles el más importante es el vapor de agua H_2O que se encuentra en proporciones mínimas (0-2%), y como segundo GEI, el dióxido de carbono CO_2 (0.03-0.04%). Los demás GEI como el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3), clorofluorocarbonos (CFCS), entre otro tipo de gases, se encuentran presentes en diminutas cantidades (Hardy *et al.*, 1986). Pero en general, todos los GEI

absorben parte de las radiaciones térmicas de la superficie terrestre, no permitiendo que se liberen hacia el espacio exterior, formando así un efecto invernadero natural⁷ en el planeta (Bazzaz, 1996).

Esa es la razón por la que las variaciones en la concentración de gases de efecto invernadero, la actividad solar y la actividad volcánica⁸, influyen en la determinación del clima de nuestro planeta, que es a lo que se llama variabilidad climática de la tierra.

Por lo tanto, la *variabilidad climática* se refiere a las fluctuaciones del clima que a través de los años y desde épocas remotas se ha presentado en distintas escalas de tiempo y espacio. Esas fluctuaciones son causadas, generalmente, por modificaciones en la forma de interacción entre los distintos componentes del sistema climático y por cambios en los factores radiativos forzantes (Pabón, 1998). Además, la variabilidad climática se hace evidente en períodos de tiempo relativamente cortos, diferenciándola así del cambio climático, y se revela en variables climatológicas como la temperatura y precipitación, cuyos valores son contrastados con los valores normales, que al identificar oscilaciones alrededor de los valores normales, es a lo que se le llama variabilidad climática (Montealegre y Pabón, 2000).

Ahora, por *calentamiento global*, se entiende al aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie del planeta, que origina cambios en los patrones del clima a nivel global. Pese a que geológicamente, en el pasado se han registrado incrementos de temperatura en el planeta producto de influencias naturales, el concepto de calentamiento global hace referencia al calentamiento de

⁷ Formada por Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los gases invernadero o de efecto invernadero son aquellos que se encuentran en la atmósfera y que absorben radiaciones infrarrojas, entre dichos gases se encuentra el vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3), hidrofluorocarbonos (HFCs), entre otros. Los GEI de mayor importancia y que se encuentran regulados por el protocolo de Kioto son: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCS) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

⁸ La actividad solar y la actividad volcánica son dos fenómenos que generan gases de efecto invernadero de origen natural

la superficie terrestre, registrada a inicios del siglo XX, relacionada con el incremento de concentración de gases de invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, etc.) en la atmósfera.

Y cuando se habla de *cambio climático*, se hace referencia al descubrimiento significativo del cambio de clima presente, que no está relacionado con las variaciones cíclicas naturales del clima. De manera que el cambio climático es consecuencia del calentamiento global, cuyo origen se debe total o parcialmente por el incremento de gases de invernadero en la atmósfera.

De manera que el cambio climático es el cambio de clima que se debe 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 observado durante períodos de tiempo comparables (CMNUCC, 1992).

Existen diversas investigaciones donde demuestran que el clima en nuestro planeta ha tenido un comportamiento inusual (Mann *et al.*, 1998; Jacoby y D'Arrigo, 1997; Mann *et al.*, 1999; IPCC, 2001; Jones *et al.*, 2001).

Por ejemplo, Jacoby *et al.*, (2003) presenta resultados de su investigación donde concluye que la temperatura del planeta ha incrementado de manera inusual en los últimos 450 años. Al respecto, Mann *et al.* (1998; 1999) menciona en sus resultados que entre los últimos 600 y 1000 años, de los aspectos que determinan la variabilidad climática (actividad solar, actividad volcánica y concentración de gases de invernadero), el más importante en el siglo XX ha sido la concentración de gases de efecto invernadero, además, menciona que el calentamiento global en el siglo XX tiene un comportamiento inusual a la tendencia general de enfriamiento del último milenio. En sus resultados menciona también que, en el hemisferio norte, se registraron los niveles más altos de la temperatura media anual en el último milenio. Además, de que el calentamiento global que se tuvo en el siglo XX tiene un comportamiento opuesto a la tendencia general del último milenio.

Partiendo del incremento de temperatura registrado en el siglo XX, que ha ocasionado el calentamiento global, se le ha atribuido que ha desencadenado una serie de factores climáticos, entre los cuáles se encuentra la reducción de las capas de hielo que cubren la tierra, acortando el tiempo de congelamiento que tienen algunos ríos y lagos durante el año. También se ha registrado un incremento en el nivel medio del mar, así como variabilidad en los patrones de precipitación, velocidad de vientos, nubosidad, y cada vez más y con mayor intensidad de eventos climáticos extremos, como el fenómeno meteorológico “El niño” y “La niña” (IPCC, 2001).

Aunado a lo anterior se ha identificado un incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) desde finales del siglo XIX, especialmente la concentración de CO_2 , segundo GEI de importancia después del vapor de agua, que ha incrementado 77 ppm durante el período 1750 (280 ppm) a 1990 (353 ppm), teniendo una tasa de crecimiento anual de 1.8 ppm (Watson *et al.*, 1991). Algunos pronósticos mencionan que el CO_2 puede alcanzar valores entre 550 y 700 ppm en el año 2050 (Bazzaz *et al.*, 1990).

Además, en diversos estudios científicos, que utilizan modelos generales de circulación, señalan la existencia de correlación entre el calentamiento global y el incremento de gases de efecto invernadero en la atmosfera (Jones *et al.*, 1997; Labraga, 1997). Algunos autores argumentan que la causa principal del cambio climático se debe al incremento de CO_2 de origen antropogénico (Miller, 1992; Mann *et al.*, 1999; Vitousek, 1994). Por el contrario, existe otro grupo de expertos que sostienen que el cambio climático se debe probablemente a la variabilidad natural del clima, simultáneamente con la variabilidad causada por el hombre.

2.2 Cambio climático

El cambio climático es un peligro severo al cual se enfrenta la población a nivel global, ello implica grandes retos en el futuro, principalmente a los peligros ambientales que atentan contra la salud, el agotamiento de la capa de ozono, la disminución de las reservas de agua dulce, la degradación de la tierra, la

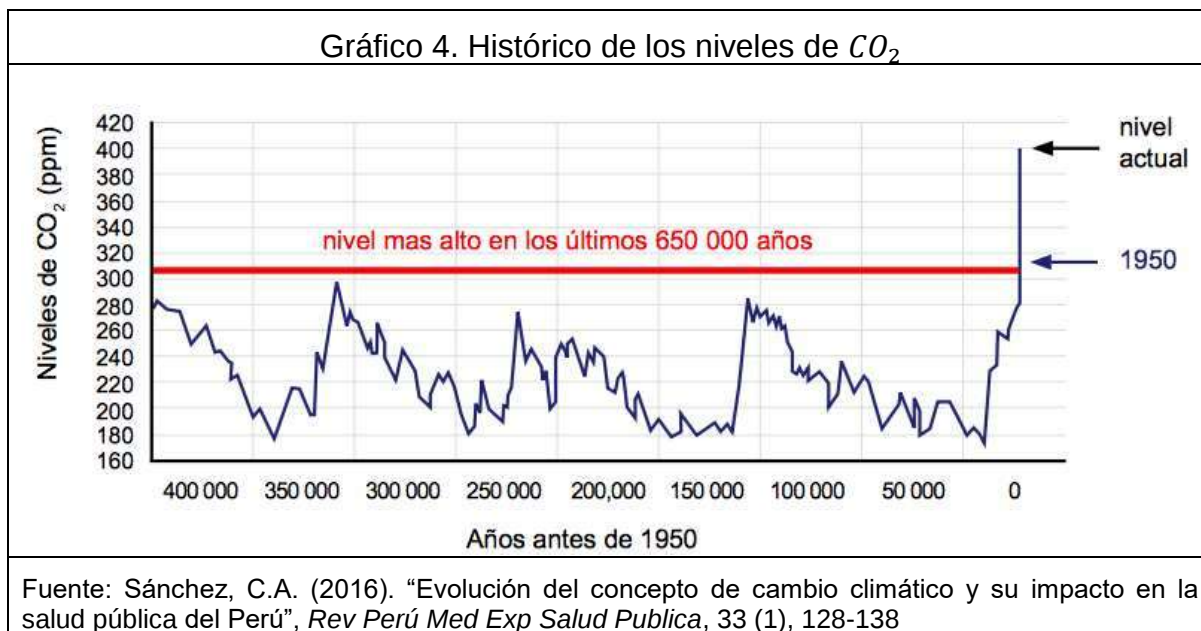
alteración de los ecosistemas, entre otros. Esto afecta a la salud de las personas, la producción de alimentos, la biodiversidad y la sobrevivencia en la tierra de las distintas especies (Naranjo *et al.*, 2013).

El concepto de cambio climático fue definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992) como “el cambio en el clima que es atribuible directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima que se ha observado sobre períodos de tiempo comparables”. Más tarde el IPCC (2007a) define el cambio climático como “cualquier cambio del clima en el tiempo, ya sea por variabilidad natural o como resultado de la actividad humana”. Naranjo *et al.* (2013) define el cambio climático como “el conjunto de cambio que está experimentando el clima a nivel mundial, evidenciados en el incremento de la temperatura, que posteriormente lleva a la producción de un calentamiento global”.

El efecto invernadero es un sistema natural que mantiene a la Tierra con una temperatura caliente adecuada para permitir la vida, siendo los gases de efecto invernadero naturales el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y ozono. Sin el efecto invernadero natural, se menciona que la temperatura promedio de la tierra sería de -18°C . El problema se presenta cuando se generan bastantes gases efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, como es el dióxido de carbono (CO_2), por el uso de vehículos, deforestación y generación de electricidad, además de los clorofluorocarbonos (CFC) derivados de los hidrocarburos, utilizados principalmente en la industria de refrigeración y de propelentes de aerosoles y en aislantes térmicos. Dichos gases generados de manera excesiva han sido responsables del calentamiento global. En los últimos 50 años, los niveles se encuentran excesivamente por arriba de los niveles de cualquier otro período registrado en la historia del planeta (Sánchez, 2016).

En el gráfico 4, se observa la evolución de los niveles de CO_2 . Antes de la Revolución Industrial, el CO_2 eran balanceados mediante procesos naturales (mar, plantas, bosque, etc.), pero a partir de la Revolución Industrial, la generación de

CO₂ incrementó sustancialmente, siendo prácticamente imposible el ser balanceada mediante los procesos naturales, acumulándose en la atmósfera y finalmente, repercutiendo en el cambio climático como un incremento en la temperatura del globo terráqueo.



De manera que entre el período 1880-2012 el planeta experimentó un incremento de 0.85 °C en la temperatura, estimándose que entre 1990 y 2100 el incremento será entre 1.4 y 4 °C, si no se toman medidas para reducir los GEI (Sánchez, 2016). Según Olabe (2016) la temperatura para finales del siglo será entre 2.7 y 3 °C, si se lleva a cabo lo estipulado en la Cumbre de París, alcanzando el pico de emisiones hasta el año 2030. Si se quiere alcanzar el objetivo de un incremento de temperatura entre 1.5 y 2 °C, es necesario alcanzar el pico de emisiones entre 2020 y 2025, y a partir de ese momento, reducirlas de forma continua y significativa, aproximadamente del 5% cada año, hasta mediados del siglo.

2.3 Posturas sobre el origen del cambio climático

Existe un debate sobre el cambio climático que se origina por un desacuerdo científico sobre su origen y secuelas que tiene el cambio climático promovido antropogénicamente. La esencia de las discusiones es referente a las causas del

aumento de gases efecto invernadero, principalmente a partir de la mitad del siglo XX. También se discute si la tendencia de incremento de temperatura, tiene precedentes o si se encuentra dentro del marco de variaciones climáticas normales del planeta. Adicionalmente si esa progresión es total o parcialmente una fluctuación por inexactas comprobaciones. El debate se genera tanto en el ámbito político como en el académico, pero en el ámbito político se generan más controversias que en el académico. En el ámbito académico existen dos posturas, aquellos académicos que creen que el cambio climático se debe a cuestiones antropogénicas y la parte que reconoce la existencia del cambio climático, señalando que se está engrandeciendo dicho problema.

Actualmente se ha documentado una gran cantidad de sucesos debido al cambio climático, que continuarán si no se adoptan medidas necesarias para contrarrestar el incremento. Entre dichos sucesos se encuentra el incremento de temperatura, la disminución del recurso hídrico, la frecuencia anómala de cambios climáticos, el deterioro de la biodiversidad, incidencias y alteraciones en la agricultura y cubierta forestal y los peligros a los ambientes oceánicos, entre otros factores (Cárdenas, 2010).

Sin embargo, se debe conocer que las variaciones climáticas siempre han existido y continuarán. El clima se encuentra en permanencia relativa, y tiene como objeto el análisis de procesos atmosféricos en base a sus valores promedios, que se obtienen a su vez, por evaluaciones continuas de observaciones en largos períodos de tiempo (Vázquez, 2009). De manera que la variabilidad natural del clima está determinada por cambios en la radiación solar, variaciones orbitales, impactos meteoritos erupciones volcánicas, la composición atmosférica, entre otros factores.

A pesar de lo anterior, en el siglo XX se identificó un incremento precipitado en la temperatura del planeta. En ese sentido Avalos-Gómez (2001), menciona que en los 80's se le conocen como la década del invernadero, debido al registro de altas temperaturas promedio en todo el planeta, aunado a varias condiciones climáticas inusuales identificadas en diferentes partes del planeta, además de sequías

inundaciones, ciclones, huracanes, tifones, que en general tuvieron impactos en la década de los 90's, en la cuál la temperatura global incrementó en promedio 0.6 grados y, por ello, es conocida como la década más calurosa del milenio (Magaña-Rueda, 2004).

En ese mismo sentido el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) tras siete años de investigación concluyó, en base a un balance de evidencias, que existe influencia reconocible de la humanidad sobre el clima global (Magaña-Rueda, 2004). La conclusión a la que llega el IPCC se basa en que la acumulación de dióxido de carbono de origen antropogénico es el factor principal que ha cambiado la composición de la atmosfera.

Se recordará que la composición de la atmósfera se encuentra determinada por diferentes gases de efecto invernadero. Descubriéndose en 1861 que el dióxido de carbono y el metano de la atmósfera son los principales gases que absorben radiación infrarroja de la luz solar, ocasionando que las moléculas de estos gases expidan radiación infrarroja en todas direcciones, causando el calentamiento global. En ese mismo sentido Berner (1995), llega a la conclusión que la acumulación de CO_2 en la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles puede ocasionar un calentamiento global.

En la comunidad científica existe un consenso en cuanto al reconocimiento a que la radiación absorbida, principalmente por la superficie, se redistribuye por circulaciones atmosféricas u oceánicas. Esto ocasiona que, al calentarse la Tierra, emitirá la energía recibida como radiación infrarroja de menor energía, que es absorbida una parte por las nubes y atmósfera, y otra parte se libera al espacio. Este proceso implica que la atmósfera se caliente y re-emita radiación térmica infrarroja en todas direcciones incrementando la temperatura del sistema climático, de manera que, la radiación solar y atmosférica recibida por la Tierra propicia las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida (Garduño, 2004). Mediante este proceso es que se desarrolla un balance, entre recepción y re-emisión de radiación, que mantiene en el largo plazo un equilibrio de la energía en el planeta.

Al cambiar los valores de las variables climatológicas (temperatura, presión atmosférica, humedad, precipitación, etc.) fluctuando fuera del promedio, se genera una alteración, que ocasiona una variabilidad climática. Así, los cambios en el clima son causa de alteraciones en el balance de la radiación recibida, remitida o su distribución en la Tierra. Esto genera alteraciones en la temperatura que tiene el planeta.

2.4 Cambio climático antropogénico

La atmósfera se encuentra formada por diversos gases, entre los cuáles se encuentra el vapor de agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3), entre otros. De ellos, el bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), perfluorometano (CF_4) y perfluoroetano (C_2F_6), hidrofluorocarbonos (HFC-23, HFC-134a, HFC-152a) y hexafluoruro de azufre (SF_6) son gases que se generan en cantidades mayores⁹ por causa de actividades antropogénicas, que tienen la capacidad de retener el calor emitido por la superficie del planeta, manteniendo y regulando la temperatura en la tierra.

Han surgido diversos estudios que pretenden descubrir si el cambio climático se debe a acciones antropogénicas. Entre las diversas investigaciones, resalta la llevada a cabo por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2002), donde se menciona que durante el año 2000 los gases de invernadero de dióxido de carbono y metano incrementaron un 31% y 151%, comparados a los valores promedio que se tuvieron entre el período 1000 a 1750, que eran de 280 ppm en el caso del dióxido de carbono y de 700 ppb para el metano.

En el caso particular del dióxido de carbono (CO_2) concentrado en la troposfera (parte baja de la atmósfera), se ha demostrado desde 1957, a través de mediciones en Hawái y de manera indirecta a través de núcleos de hielo, el incremento aproximado en 31 % en poco más de 100 años, pasando de 280 ppm en 1750 a 367 ppm en 1999. Cabe mencionar que estos incrementos de CO_2 ya se

⁹ Al balance natural de gases invernadero que componen la atmósfera

han registrado geológicamente, pero se han alcanzado en aproximadamente 420,000 años (IPCC, 2007).

Casi similar ocurre con el metano (CH_4), registrándose aproximadamente 700 ppb (partes por billón) en 1750, cifra que incremento en un 150 %, llegando a 1745 ppb en 1998. Dicho crecimiento en CH_4 no se había excedido en los últimos 420,000 años. Los incrementos de CO_2 de origen antropogénico se deben principalmente al transporte, uso industrial y doméstico de combustibles con contenido de carbono (petróleo, carbón, gas natural y leña), la deforestación (que causa la descomposición de la materia orgánica) y quema de biomasa vegetal. En el caso de CH_4 , las principales emisiones provienen de la agricultura (cultivo de arroz, etc.), rellenos sanitarios, incremento del hato ganadero, uso de gas natural y quema de biomasa vegetal (IPCC, 2007).

Estos incrementos en los gases de invernadero los relacionan con el incremento de temperaturas promedio en el planeta que ha registrado en 0.6 grados centígrados, reflejándose en superficies terrestres mucho más calientes que los océanos, además incrementaron la cantidad de sequías, principalmente en Asia y África. Adicionalmente se observó, en el siglo XX, un incremento entre 10 y 20 cm en el nivel promedio del mar, así como una reducción en un 40% en el grosor y entre el 10 y 15% extensión del hielo del mar Ártico, así como floraciones de plantas y migración de aves.

Magaña-Rueda (2004), De la Torre *et al.* (2009) mencionan que entre más altas sean las concentraciones de gases de invernadero, serán mayores las anomalías climáticas. Además, las modelaciones climáticas indican que en el siglo XXI se registrarán incrementos de temperatura en la superficie terrestre y océanos, llegando a incrementos entre 2°C y 5°C, así como un incremento en los fenómenos meteorológicos.

2.5 Fundamentos de los escépticos

Dentro de la comunidad científica, existe un grupo que argumenta que el cambio climático no se debe a razones antropogénicas. El primer argumento para ellos es que la existencia del cambio climático siempre ha estado presente y ello se debe a sucesos naturales, no relacionados con las emisiones de CO_2 . Como segundo argumento, dicen que los impactos del calentamiento se deben más a publicidad y a las predicciones que se obtienen de los modelos de medición de temperatura, los cuáles pueden ser fácilmente descalificados (Durkin, 2007). Ellos mencionan que, en la Edad de Piedra, se registró un período de calor prolongado al que le conoce como holoceno máximo, más tarde, en el siglo XIV, se volvió a registrar un período de calor, al que lo llamaron período cálido medieval. Y en el siglo XVI también se registró un período de mini glaciación que duró varios años, al cuál se le conocía como Pequeña Era Glacial, donde previo a dicha etapa hubo un período de calor que permitía incluso cultivar la vid en Inglaterra, demostrándose así que dicho período de calor se debe a un proceso natural, cíclico e inofensivo.

Adicionalmente, se menciona que en la actualidad el incremento mínimo de temperatura que se ha registrado se debe a que nos acercamos a un bajón solar, al que se conoce como *mínimo de Gleissberg*, que es una etapa previa a las glaciaciones. En dicho período se presentan anomalías climáticas como inundaciones y pequeñas olas de calor y frío. De manera que, el cambio de temperatura actual se lo atribuyen a la fase previa de la glaciación (Campos, 2008).

Aunado a lo anterior, este grupo ha argumentado que es mínima la importancia del CO_2 en la atmosfera, ya que este gas de invernadero representa el 0.054% del total de gases que forman a la atmosfera, que representa una fracción muy pequeña y considerando que aun se debe separar la parte que corresponde a la humanidad (fracción aún más pequeña), siendo emisiones insignificantes.

Por otra parte, también se menciona que existe una relación retardada entre el incremento de temperatura y las emisiones de CO_2 , y que son los cambios en la

temperatura los que determinan los niveles de CO_2 (Durkin, 2007). En ese sentido, dicho grupo de científicos ha mencionado que las evidencias sobre la temperatura de la superficie y de la atmosfera no coincide con las afirmaciones sostenidas por el IPCC. Según investigaciones del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por sus siglas en ingles), mencionan que los gases de invernadero retiene el calor en la troposfera, lo cuál implica que si existe un calentamiento de efecto invernadero el calor sería más intenso en el centro de la tropósfera, por lo tanto, si la superficie de la tierra se calienta, implicaría que la temperatura de la atmosfera se calentará con mayor rapidez, pero las evidencias señalan que no existe un incremento significativo en la temperatura en la atmósfera (Durkin, 2007).

Otra de sus críticas es referente a los modelos de predicción de temperaturas, los cuáles, según el grupo de expertos científicos, son descartados en su totalidad cuando las predicciones que arrojan los modelos climáticos no se cumplen. De manera que, al no comprender los factores que intervienen en el comportamiento climático, donde las emisiones de CO_2 no representan un factor con mayor importancia que otros factores, los modelos pierden validez (Durkin, 2007).

Desde el enfoque político, las investigaciones de cambio climático han tomado importancia a partir de la ministro Margaret Thatcher¹⁰, cuya intención era desarrollar la energía nuclear (libre de emisiones de CO_2). Bajo dicha intención se subsidiaron una diversidad de investigaciones que demostrarán la existencia del cambio climático, dando el primer paso con la creación del Instituto Británico de Meteorología, enfocada en los modelos climáticos, a la que se le consideró el antecedente del Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático. Formándose así el primer movimiento de cambio climático en base a las ideas del científico Bert Bolin, quien sugirió que el incremento de emisiones de CO_2 aumentaría las temperaturas en el planeta (Durkin, 2007).

¹⁰ Política británica que ejerció como primera ministra del Reino Unido desde 1979 a 1990. Su llegada al poder supuso una completa transformación del Reino Unido al apoyar la privatización de empresas estatales, de la educación y de los medios de ayuda social. Su filosofía política y económica hicieron hincapié en la desregularización del sector financiero, la flexibilización en el mercado laboral, la privatización de empresas públicas y la reducción del poder de los sindicatos.

Se menciona además que el Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático, al igual que otros organismos de la ONU, son de corte político y, por tanto, las conclusiones que se derivan de estos organismos son determinadas por la política.

En el caso específico del IPCC, se dice que, para completar los 2500 miembros, se integran críticos, actores del gobierno, así como cualquiera que tenga relación con el tema. Además, menciona el co-fundador de *Greenpeace* que el cambio climático es un movimiento político que se ha expandido en todo el planeta (Durkin, 2007) y que el incremento de temperatura de 0.6°C ha sido bastante lucrativo, ya que ha sido explotado como estrategia de mercadotecnia el mercado ecológico, que ha demostrado ser bastante rentable en el planeta.

De manera que, los argumentos anteriores marcan una postura que sostiene que el incremento de temperatura, y como consecuencia el calentamiento global del planeta, no se debe a cuestiones antropogénicas. Sin embargo, las instituciones ya han definido una postura sobre el calentamiento de nuestro planeta.

2.6 La postura institucional sobre el calentamiento global

Actualmente, la postura institucional sostiene que el calentamiento global se debe a cuestiones antropogénicas, pero aún no se tiene un consenso sobre dicho debate. Se logró un consenso sobre el cambio de clima, sin embargo, la humanidad no ha reconocido la severidad del daño que se ha ocasionado, la contaminación y depredación de los recursos naturales de nuestro planeta, y como contribuyen al cambio de clima, debilitando los esfuerzos para contener dicho perjuicio. Existiendo corrientes optimistas sobre la tecnología y otros grupos que ignoran la evidencia sobre deterioro ambiental a nivel global, argumentando incluso en algunos estudios que las cifras del Producto Interno Bruto (PIB) se han elevado en la mayor parte del mundo, que la expectativa de vida ha incrementado en muchas regiones, que algunas afirmaciones referentes al deterioro ambiental se han exagerado, y que los pronósticos sobre los desastres ambientales no se ha confirmado.

Según Constanza, Cumberland, Daly, Goodland y Norgaard (1999), las declaraciones anteriores son correctas, a excepción de la última. Sin embargo, dichas afirmaciones no son una razón valiosa para descartar el daño ambiental que se ha ocasionado a nuestro planeta. El PIB y otros indicadores de contabilidad sobre el ingreso nacional están enfocados en medir transacciones de mercado, subestimando la disminución de recursos utilizados para lograrlo, no contemplando el daño por contaminación, y por tanto, no considerando los cambios reales en el bienestar, tomando como muestra de ello el Índice de Bienestar Económico Sustentable¹¹ que indica una mejoría muy pequeña en las ganancias reales, pese a grandes incrementos en la producción que acaba con los recursos.

Además, se menciona que los incrementos en la expectativa de vida en varios países demuestran una mejoría en el bienestar. Sin embargo, esto solo sería válido si el incremento en la expectativa de vida se acompaña por disminuciones en la tasa de natalidad. Ello, porque el crecimiento acelerado de la población acentuará los problemas ambientales. En la Unión Soviética, se registró un incremento en la tasa de mortalidad infantil simultáneamente se tenía una disminución real en las expectativas de vida, estos hechos demostraron lo peligroso que es la acumulación de fuentes de contaminación y el descuido de la salud pública (Feshbach y Friendly, 1992).

Con los avances tecnológicos y en las ciencias ambientales, se han desarrollado técnicas como la detección remota global y otros sistemas de monitoreo, que sirvieron para realizar una evaluación con mayor precisión sobre el deterioro ambiental local y global. Esto ha posibilitado la acumulación de evidencia concerniente a la pérdida acelerada de los bosques tropicales, la extinción de especies, la disminución de zonas pesqueras oceánicas, la escasez de agua potable en ciertas áreas e incremento de inundaciones en otras, la erosión de la

¹¹ Es un indicador que trata de superar algunas de las limitaciones del PIB como medida de bienestar, para su cálculo incorpora el gasto en consumo, los servicios de trabajo doméstico no pagado, gastos públicos no defensivos, gastos privados defensivos, formación de capital, degradación ambiental y depreciación de los recursos ambientales. Fue desarrollado por Herman Daly y John Cobb en 1989 y ha sido utilizado en países como Italia, Suecia y Gran Bretaña.

tierra, la disminución de contaminación de mantos acuíferos subterráneos, la disminución en cantidad y calidad de agua potable y para irrigación, y el incremento en la contaminación de la atmosfera y océanos, llegando incluso a regiones polares (Brown, 1977a).

A pesar de lo anterior, las políticas para remediar los problemas ambientales han sido inadecuadas, parciales y locales, enfocándose principalmente en los síntomas del daño ambiental y no en las causas básicas, cuando dichos instrumentos de políticas deberían estar diseñados para ser eficientes, con equidad y sustentabilidad.

Los problemas fundamentales para los cuales se requieren diseños de políticas adecuados son:

- Poblaciones excesivamente grandes y en continuo crecimiento, excediendo la capacidad de carga del planeta.
- Tecnologías ineficientes, debido a que son altas en el crecimiento de la entropía que agota los recursos de la Tierra y los desechos no asimilados contaminan el aire, el agua y el suelo.
- Conversión del suelo, propiciando la eliminación del hábitat e incrementando la erosión del suelo y agudizando la pérdida de diversidad en especies (Constanza *et al.*, 1999).

El daño antropogénico que se ha causado a nuestro planeta no es un hecho nuevo, esto comenzó cuando la humanidad comenzó a utilizar procesos tecnológicos en la agricultura que incrementaban la entropía¹², causando daño en gran escala cuando se incrementó la producción de las fábricas en Europa en la Revolución Industrial. En ese período, las políticas públicas para solucionar la contaminación fueron débiles o inexistentes, permitiendo a los contaminadores el derecho a tirar los desperdicios dentro de los recursos de propiedad común como

¹² La entropía puede ser la magnitud física termodinámica que permite medir la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema. Esto quiere decir que dicha parte de la energía no puede usarse para producir un trabajo.

el agua y el aire, argumento a favor de la privatización de las zonas comunes, abordada en la tragedia de los bienes comunes¹³.

En Inglaterra, se registró una gran concentración urbana en la ciudad de Londres, acumulándose un *smog* que era asfixiante causado por la quema de carbón, registrándose a la mitad del siglo XX muertes por causa del *smog* que se acumulaba por el crecimiento de la industria. Otro caso que se registró fue en 1948 en Donora, Pensilvania en Estados Unidos, donde una acerera generó un *smog* que mató a varias personas, causando enfermedades a otras. Nuevamente en Londres en 1952, se registró una matanza de miles de personas debido a que en una noche de invierno se acumuló bastante *smog* por la quema de carbón doméstica e industrial.

Las actividades desarrolladas por la humanidad han crecido extraordinariamente, llegando a perjudicar los sistemas ecológicos que son esenciales para mantener la vida en el planeta. La forma de crecimiento económico que predomina en la tierra ha propiciado problemas sociales, económicos y ambientales, todos ellos relacionados entre sí. Por ello, la necesidad de cambiar el modelo de desarrollo actual por uno que proporcione mejoras cualitativas sin el crecimiento en el uso de recursos naturales, se requiere el desarrollo de una economía con un enfoque sustentable, que atienda los problemas centrales que actualmente vivimos ante el deterioro ambiental. Esto implica un gran reto para la humanidad, asumiendo el desafío de vivir de manera sustentable y adecuada ajustándose a los límites materiales que tiene nuestro planeta finito (Constanza *et al.*, 1999).

Para entender los problemas ambientales que atentan contra la vida en nuestro planeta, es fundamental conocer, que el sistema económico depende del ecosistema que existe en la tierra. El sistema económico para tener crecimiento y poder llevarse a cabo, requiere de insumos materiales, que los provee la naturaleza (ecosistema global), y los desperdicios del propio sistema son arrojados a la misma naturaleza asimilados por los ecosistemas. La situación

¹³ Para mayor información consultar Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, pp.1243-1248.

comienza a complicarse cuando la población comienza a multiplicarse, incrementando la cantidad de recursos para satisfacer las necesidades, arrojando los desperdicios, tanto del consumo como de los procesos en el sistema económico, en cantidades que sobrepasan la capacidad del ecosistema para poder asimilarlas.

El ecosistema tiene funciones de proveer insumos, y a la vez, absorber los desperdicios con una capacidad grande pero limitada, que respalda al sistema económico. Y por ello, la necesidad de mantener el tamaño del sistema económico mundial dentro de la capacidad que tiene el ecosistema para sostenerlo. De manera que, el incremento en la producción no es una forma viable para vivir en el planeta (Constanza *et al.*, 1999).

Bajo este contexto es de suma importancia que la humanidad contribuya, con maximizar la utilización de los recursos naturales, manteniendo la capacidad de regeneración de la propia naturaleza. Las acciones del ser humano contribuyen en la determinación de factores que causan el cambio climático, por ello, la presente investigación se desarrolla bajo el enfoque de la postura institucional que adopta en torno al cambio climático.

2.7 Los límites del ecosistema global

La actividad económica ha sobrepasado los límites fundamentales de fuente de insumos y sumidero de desechos. Han llegado a los rincones menos accesibles para la humanidad que van desde el centro de la Antártida hasta el Monte Everest, donde es visible el daño ambiental. Los océanos se han contaminado con los 20 mil millones de toneladas de desperdicio que vierte la humanidad anualmente (Constanza *et al.*, 1999; GreenPeace, 2018). El ecosistema marino ha acumulado sustancias químicas tóxicas como el DDT, los PCBs (bifenilos-policlorinados) y compuestos de metales pesados. En la calidad del aire, el 20% de la población mundial aspira oxígeno con niveles de contaminación mayores a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), como en el caso

de la Ciudad de México donde el aire tiene altas concentraciones de plomo que pueden afectar intelectualmente a las personas.

En el Club de Roma en 1972 se trataron los “límites al crecimiento”, posteriormente, se desplazó hacia los límites del sumidero, siendo estos últimos más complejos de tratar. Los primeros eran más fáciles de sustituirlos y ser tratados desde la propiedad privada vía control de mercados y precios. Por el contrario, los límites del sumidero abarcan áreas de propiedad común en las cuáles los mercados fallan. Algunos de estos límites se han tratado de controlar como los clorofluorocarbonos¹⁴ (CFCs), tratados en la Convención de Montreal, pero existen otros que son más difíciles de controlar como lo son las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y la apropiación humana masiva de la biomasa.

Otro de los problemas es la localización de lugares para depósitos contaminantes. Actualmente la basura se tiene que transportar cientos de kilómetros, desde su origen en los países industrializados hacia los menos desarrollados, con la finalidad de encontrar sumideros disponibles. Como ejemplo, en nuestro país en la parte norte, se almacenan los desperdicios nucleares provenientes de Estado Unidos. En el caso de China, en 1987 firmó un acuerdo para que la *Kraft-Werk Union* de Alemania pudiese depositar desperdicios nucleares en el desierto de Gobi en Mongolia (Constanza *et al.*, 1999).

2.8 Primera evidencia de los límites globales: apropiación de biomasa humana

Vitousek y Cols. (1986) realizaron un cálculo que demuestra que el sistema económico utiliza, directa e indirectamente, el 40% del producto primario neto de la fotosíntesis terrestre, si se considera a los océanos y otros ecosistemas la cantidad se reduce a 25%. Este proceso avanza continuamente, incrementándose la desertificación, la expansión de la mancha urbana en tierras de cultivo, la

¹⁴ Los *clorofluorocarbonos* (CFC) son derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente. Los CFC son una familia de gases que se emplean en diversas aplicaciones, principalmente en la industria de la refrigeración y de propelentes de aerosoles.

erosión del suelo y su contaminación, y la búsqueda incesante de alimentos ante el crecimiento poblacional.

Esta situación se torna alarmante, debido a que la apropiación de la biomasa no es posible que sea del 100%, en términos ecológicos, y si hipotéticamente lo fuese, sería una situación indeseable socialmente hablando (Daly, 1991c, 1991d).

2.9 Segunda evidencia de los límites globales: cambio climático

El 10 de julio de 1913 se registró el día más caluroso a la fecha, con 56.7°C en el Valle de la Muerte (California), el segundo lugar corresponde a julio de 1931 en Kebili (Túnez) con 54°C, más tarde en el siglo XXI se identifica el 21 de julio del 2016 en Mitribah (Kuwait) y el 28 de mayo del 2017 en Turbat (Pakistán) una temperatura de 54°C, considerándose además el 2016 como el año más caluroso, sobrepasando en 0.63°C con respecto a la temperatura media mundial en relación al promedio 1981-2010 (Merlone *et al.*, 2019; OMM, 2020; C3S, 2020).

Esta variabilidad en el clima, genera una incertidumbre entre los científicos sobre los posibles efectos, estando la mayoría de acuerdo en que el cambio climático ocurrirá. Esta variabilidad del clima se debe en parte a la dependencia de los combustibles fósiles, propiciando la acumulación de gases invernadero, que son uno de los principales factores del calentamiento global, entre los que se encuentra la quema de carbón, petróleo y gas natural. En el caso de las emisiones de carbono, estas han incrementado año con año desde la Revolución Industrial, creciendo en la actualidad alrededor del 4% (Constanza *et al.*, 1999).

La deforestación, es otra de las actividades principales que contribuye con las emisiones de carbono, debido a que las personas necesitan una mayor cantidad de tierras, reduciendo los bosques que contribuyen al encapsulamiento del mismo. Se han liberado siete mil millones de toneladas de carbono cada año como parte de la humanidad (a través de combustibles fósiles y deforestación), que se acumulan en la atmósfera y pareciendo que es un proceso imparable. Se tiene la

expectativa que con el desarrollo de la tecnología se pueda reducir la generación de carbono, pero no eliminar su acumulación en la atmósfera.

Otro aspecto a considerar en el cambio climático son los contaminantes que libera el sistema económico (metano, CFCs y óxido nitroso) y que exceden la capacidad de asimilación de la biosfera. Estos contaminantes son más perjudiciales que el dióxido de carbono, a pesar de que sea menor su cantidad.

2.10 Tercera evidencia de los límites globales: ruptura de la capa de ozono

La actividad humana ha llegado a ser tan perjudicial que ha ocasionado agujeros cósmicos en la capa de ozono. Este hecho ya había sido pronosticado por Sherwood Rowland (1974) y Mario Molina (1974), al investigar que la acumulación de CFCs causaría agujeros en la capa de ozono. Fue hasta 1985 cuando se detectaron los primeros agujeros en la Antártida, este acontecimiento no fue muy bien aceptado, sin embargo, se realizaron más pruebas que confirmaron los agujeros, y que estos comenzaron a partir de 1979. Los agujeros eran más grandes que el territorio de Estados Unidos y más altos que el Monte Everest.

Más tarde, se descubrió un segundo agujero en el Ártico y un adelgazamiento en la capa de ozono en las latitudes templadas del norte y sur, que incluyen el norte de América y Europa. Además, se ha detectado que el adelgazamiento de la capa de ozono es más acelerado de lo que han pronosticado los modelos.

Los efectos de los agujeros se han manifestado en daños a la salud humana, como cáncer en la piel, brote de cataratas, relacionándose que por cada disminución del 1% en la capa de ozono hay un incremento del 5% en el cáncer de piel. Además, se tiene repercusiones más graves como la depresión del sistema inmunológico en las personas, causando una mayor vulnerabilidad a enfermedades infecciosas, tumores y parásitos. Y la consecuencia más importante sería la ruptura de equilibrios normales en la vegetación natural, pudiendo disminuir especies claves de las cuales dependen muchas otras, causando un

desequilibrio general en los servicios ambientales, llegando incluso a la extinción (Constanza *et al.*, 1999).

La humanidad libera en la biosfera aproximadamente un millón de toneladas de CFCs y tardan alrededor de 10 años en llegar a la capa de ozono, dañándola en promedio un siglo. De manera que, el daño causado en la actualidad se debe a los CFCs liberados hace 10 años. Si se eliminaran las emisiones de CFCs las consecuencias se empezaría a manifestar una década después. Con esto se demuestra que la humanidad ha sobrepasado la capacidad que tiene el ecosistema global de absorber CFCs.

2.11 Cuarta evidencia de los límites globales: degradación del suelo

La degradación del suelo se ha realizado por miles de años, no siendo una preocupación durante ese tiempo. Sin embargo, su escala ha incrementado bastante, que actualmente es una situación alarmante, debido a que alrededor del 97% de los alimentos se abastecen del suelo, siendo una pequeña parte la que proviene de los sistemas marinos.

En el 2017 se estima que poco más del 75% de los suelos se encuentran con algún grado de degradación a nivel global, y continúa incrementado (IPBES, 2018). En el caso de México, cerca del 76% de los suelos presentan algún tipo de degradación (Bolaños *et al.*, 2016), mientras que otros estudios mencionan que es alrededor del 66% (INEGIa, 2015; INEGIb, 2015). Diversas investigaciones, entre ellas las de Pimentel y Cols (1987), Kendall y Pimentel (1994), IPBES (2018) y SEMARNAT-CP (2003) descubrieron que la erosión del suelo es alarmante en gran parte de las zonas destinadas a la agricultura, agravándose la situación ante la expansión hacia suelos marginales. Se ha registrado una tasa de pérdida del suelo entre 10 y 100t/hectárea/año, que sobrepasa 10 veces la tasa de formación del suelo. De manera que la agricultura está causando erosión, salinización o saturación del agua en 6 millones de hectáreas por año. Esto puede desatar una crisis de alimentos a nivel mundial, acompañada de incrementos en los precios de los mismos.

2.12 Quinta evidencia de los límites globales: pérdida de la biodiversidad

La actividad económica en nuestro planeta ha crecido asombrosamente que ha limitado la existencia para todas las especies en nuestro planeta. Incrementándose las tasas de apropiación del hábitat de la vida silvestre y la extinción de especies ha sido más acelerada, según la historia, y continúa en crecimiento.

La selva tropical, caracterizada por ser uno de los hábitats que aloja la mayor cantidad de especies en el planeta, se ha destruido en poco más de la mitad (55%), registrando una tasa de pérdida que supera los 168,000 kilómetros cuadrados por año. Ante la imposibilidad de conocer el número exacto de especies que existen en el planeta (algunos opinan que hay 5 millones, otros que 30 millones o más), resulta imposible determinar con exactitud las tasas de extinción. A pesar de ello, existe una estimación conservadora mencionando que la tasa de extinción irreversible es de 5,000 especies por año. A diferencia de la postura contraria, menos conservadora, menciona que la tasa es de aproximadamente 150,000 especies por año (Goodland, 1991). En el 2007 se han perdido entre 18,000 y 55,000 especies (El país, 2007), mientras que en el 2018 se estima que se pierden 20,000 especies cada año (France24, 2018). En los últimos siglos el número de especies en el planeta se encuentra disminuyendo. Llegando a incrementar la tasa de extinción de especies hasta mil veces por encima de las tasas típicas de la historia del planeta, implicando que entre el 10 y 30% de especies de mamíferos, aves y anfibios se encuentre en peligro de extinción (Montes y Salas, 2007).

CAPÍTULO III. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA: EL DESARROLLO DE MODELOS

En el presente capítulo se aborda como el modelo de desarrollo actual contribuye en el cambio climático, afectando al planeta, derivado de ello, se hace imprescindible la vulnerabilidad y adaptación. Se abordan los posibles efectos del cambio climático que se tendrían en la producción de maíz en nuestro país, así como los modelos de cambio climático utilizados a nivel mundial y los escenarios posibles ante dicho fenómeno.

3.1 El modelo de desarrollo y el cambio climático

La humanidad existe en su forma anatómica actual desde hace 170 mil años, pero solo desde unos pocos siglos hacia el presente comenzó a provocar modificaciones en el planeta en diferentes escalas (atmosférica, energética, biodiversidad, etc.). Es a partir de la Revolución Industrial, de mediados del siglo XVIII, que han aumentado los impactos de las actividades humanas en el ambiente. El paradigma económico dominante es el del crecimiento económico continuo, con lo que la producción humana debe incrementarse año con año, que además se vuelve indispensable para subsanar problemas como la pobreza, la desigualdad y el hambre (Amador, 2011). Sin embargo, el modelo actual de desarrollo basado en el crecimiento económico no considera los límites biofísicos que el planeta puede sustentar. Las actividades de nuestra especie han alcanzado una escala tan grande que han comenzado a afectar el mismo sistema ecológico sustentador de vida. El creciente número de problemas sociales, económicos y ambientales, que están interrelacionados, nos obliga a buscar un nuevo desarrollo económico y social, basado en el mejoramiento cualitativo sin crecimiento en el uso de recursos. Hemos pasado de un mundo vacío a un mundo lleno, donde el subsistema económico muestra evidencia de haber alcanzado o excedido los límites de fuente y sumidero naturales (Constanza *et al.*, 1999).

En el año 2000 el ganador del premio Nobel Paul Crutzen propuso que los 11 mil años de estabilidad climática conocida como *Holoceno*, durante la cuál florecieron las civilizaciones humanas, estaba llegando a su fin. A mediados del siglo XIX sería la fecha de transición hacia la era llamada *antropoceno*, debido a que la civilización humana podía afectar de manera extraordinaria el clima.

El autor se basa en una serie de hechos para llegar a esa conclusión: el crecimiento población supera los 7700 millones de habitantes (Naciones Unidas, 2019); el crecimiento del ganado se encuentra por encima de las 1400 millones de cabezas; el crecimiento exponencial de las urbes; el crecimiento en el ácido sulfhídrico; la utilización de más del 50% de la tierra para la agricultura; más de la mitad del agua consumible ya es usada por los humanos; la preocupante extensión de las especies por la acción humana; saturación de la atmósfera por gas carbónico y gas metano; pesca que captura más del 25% de la producción primaria de los océanos y 35% de las aguas interiores. Considerando estos datos, parece apropiado utilizar el término antropoceno para la época geológica actual (Palacio, 2013)

El siglo XX y comienzo del XXI tiene como característica distintiva el crecimiento exponencial de la temperatura, la población, la degradación de los bosques, la pérdida de especies y del uso de energía. El resultado final, muestra que como especie hemos excedido la capacidad global de la tierra hasta un punto que posiblemente no tenga retorno. Los estudios de huella ecológica muestran que la economía mundial ha sobrepasado en un 33% la capacidad de reposición del planeta. Lo cuál significa que estamos requiriendo 1.4 planetas para proveer los recursos que demanda nuestro consumo (Espósito y Zandvliet, 2013), cifra que ha avanzado a 1.75 planetas al día 29 de julio del 2019 (Global Footprint Network, 2019).

La depredación de la naturaleza no es exclusiva ni de la especie humana¹⁵ ni de la época contemporánea dominada por la racionalidad económica¹⁶. A diferencia de otras especies, el humano transforma el medio ambiente apoyándose de instrumentos que son acumulados de generación en generación, los cuáles son susceptibles de apropiación y monopolio, lo que ha dado paso a la división de clases sociales en función de la apropiación de esos medios de producción, que además han sido siempre la base para transformar el ambiente externo.

Todo ser vivo utiliza al medio ambiente como suministro de recursos para la supervivencia y como destino de la generación de residuos. El problema ambiental está en que la especie humana, en la actualidad, sobrepasa las capacidades regenerativas de la naturaleza, así como su capacidad de absorción de residuos a escala planetaria. Esto es una consecuencia de la contradicción entre el ritmo de los ciclos biogeoquímicos y el ritmo de los ciclos de producción humana (Foladori, 2005). De continuar esta tendencia, la especie humana y muchas otras se encuentran en riesgo de desaparecer, por lo que es vital analizar alternativas al modelo de desarrollo actual que nos permitan alcanzar la sustentabilidad.

Existe una fuerte correlación entre las emisiones y las actividades industriales. Los países industrializados comenzaron sus emisiones a principios del siglo XIX con el auge de la Revolución Industrial y la expansión del comercio internacional que tuvo como su motor el uso del carbón. Los países en transición comenzaron a incrementar sus emisiones después de la Revolución Rusa en 1917, que posteriormente exporta el modelo soviético a todo el bloque oriental, que demandó un elevado consumo de energía fósil. Estas economías experimentaron un fuerte crecimiento hasta la desintegración de la Unión Soviética, donde hubo un

¹⁵ Las sociedades con tecnología primitiva llegaron a ocasionar también graves y rápidas catástrofes biológicas. Prácticas ancestrales como roza, tumba y quema, también llamada agricultura itinerante se relaciona con la erosión de la tierra. (Semarnat, 2012).

¹⁶ Diversas especies han llegado a realizar cambios de gran escala en el planeta. En un sentido positivo, está el caso de las cianobacterias hace 3600 millones de años comenzaron a utilizarla luz solar mediante fotosíntesis para separar las moléculas de carbono del agua, con lo que se propagó el oxígeno en la atmósfera que posteriormente permitiría la vida de organismos aerobios como los humanos. En un sentido negativo, se encuentran casos como la erosión del suelo provocado por cabras, o por el avance de nuevas especies que llegan a ecosistemas provocando bruscos cambios ambientales (Foladori, 2005).

desplome económico y por ende, de sus emisiones. Fue después del período de postguerra y de la aplicación de los “programas de industrialización” como el de Modelo de Sustitución de Importaciones, promovido en América Latina por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), que los países en desarrollo comenzaron a consumir más combustibles fósiles. En todos los casos, cuando han existido períodos de recesión y estancamiento económico, las emisiones han disminuido (Espósito y Zandvliet, 2013).

De manera que existe una relación clara entre las emisiones de dióxido de carbono y la actividad económica, y con ello implícitamente una contaminación ambiental, que a través del tiempo esa contaminación llega a ser perjudicial para la humanidad, debido a que, si las altas concentraciones de dióxido de carbono causan el incremento de temperatura a nivel global, gran parte de la población no se encuentra preparada para afrontar el incremento de temperatura. Ante esta situación es necesario determinar el grado de vulnerabilidad y adaptación que se tiene para afrontar dicha situación.

3.2 Vulnerabilidad y adaptación

La vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad o la incapacidad de hacer frente a los efectos adversos. La vulnerabilidad a su vez es función de la sensibilidad del sistema (nivel de reacción a un cambio en las condiciones climáticas) y de la capacidad de adaptación, que se entiende como la capacidad para ajustarse al cambio climático, para reducir daños potenciales, aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias (IPCC, 2007; Adger, 2007).

El índice de vulnerabilidad es importante determinarlo antes de realizar una valoración económica sobre las medidas de adaptación ante los efectos del cambio climático. La identificación y evaluación de los riesgos es una necesidad previa a la valoración. El análisis de vulnerabilidad facilita valorar y determinar la capacidad de organismo, agente, productor, etc. para adaptarse a dichos efectos. En el análisis de vulnerabilidad se enfoca en evaluar los cambios de la demanda y

la disponibilidad del producto mediante proyecciones de Modelos de Circulación General (MCG).

La evaluación de la vulnerabilidad añade solamente aspectos físicos que consisten en índices de disponibilidad (Lu, 2004). No obstante, se han desarrollado evaluaciones integrales, a través de distintos análisis, proponiéndose diferentes índices al enfoque utilizado para la generación de indicadores, incorporando el enfoque causa-efecto (UNEP, 2008), así como la incorporación de factores, humanos, sociales, políticos y físicos (Sullivan y Meigh, 2005).

La investigación llamada La Economía del Cambio Climático de Galindo (2009) estima un índice de vulnerabilidad según el efecto de los cambios de temperatura y precipitación en la disponibilidad natural y demanda de agua para obtener un rango de variación del probable incremento del índice según variaciones entre escenarios del 2017, 2050 y 2100 con cambio climático.

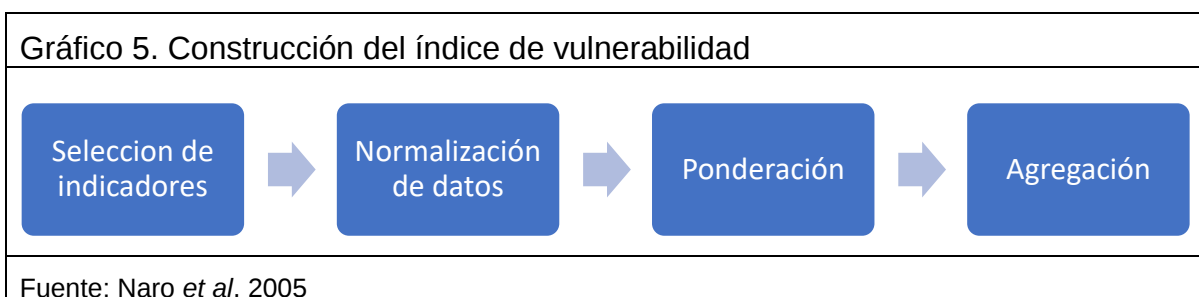
En dicho contexto, un análisis de vulnerabilidad que incorpore proyecciones climáticas y el enfoque cuantitativo utilizado en el marco de los recursos hídricos, facilitará la estimación del efecto de los impactos el cambio climático y evaluar las diversas dimensiones sobre la problemática en los organismos operadores que favorecen el incremento de la vulnerabilidad.

De manera que, tomando la disponibilidad de información, los conceptos planteados por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y la guía metodológica para la formulación de indicadores compuestos planteada por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (Naro *et al.*, 2005), se plantea evaluar la respuesta de la producción de maíz blanco al cambio climático mediante un índice numérico adimensional que permita valorar la susceptibilidad y el nivel de respuesta con base a tres componentes: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

Tomando en cuenta estos tres factores se genera un índice que permite evaluar de forma individual el grado de vulnerabilidad en un organismo basado en la agregación lineal y ponderada de dichos factores, ver ecuación 1 y gráfico 5.

$$I_v = GE + SE + CA \text{ ecuación 1}$$

Donde I_v es el índice de vulnerabilidad, GE es el grado de exposición, SE es la sensibilidad y CA es la capacidad de adaptación.



Selección de indicadores

Los indicadores relacionados con la vulnerabilidad y según lo planteado por el IPCC son: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2007). Se determina el conjunto de variables que permiten evaluar cada uno de los indicadores. A continuación, se describen:

Grado de exposición: es la magnitud y escala de variación del clima al cuál se está expuesto;

Sensibilidad: es el nivel de susceptibilidad de un sistema a los efectos del cambio climático:

Capacidad de adaptación: la habilidad de un sistema para ajustarse a diversos efectos del cambio climático con el propósito de aprovechar potenciales beneficios o bien, afrontar los retos que se impongan.

A su vez, cada indicador se encuentra formado por distintos componentes, mencionados a continuación:

- 1) Grado de exposición
Precipitación y temperatura.
- 2) Sensibilidad
Consumo.
Grado de confiabilidad.
Demanda / Oferta.
Grado de presión.
Tarifa/Costos de producción.
- 3) Capacidad de adaptación
Eficiencia física.
Eficiencia comercial.

La metodología para la estimación de la vulnerabilidad, establecida por el IDEAM (2010), se expresa en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Riesgo} = [\text{amenaza} \times \text{probabilidad de ocurrencia}] \times [\text{vulnerabilidad}]$$

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{impactos negativos}] - [\text{impactos negativos} \times \text{capacidad de adaptación}]$$

Para reaccionar ante el cambio climático, se necesita un proceso de gestión de riesgos que contemple un conjunto de acciones que identifiquen y evalúen los riesgos, con la finalidad de emprender de manera efectiva las medidas necesarias para responder ante ellos. Ello contempla la identificación, la calificación, la evaluación de los riesgos, el diseño e implementación de medidas para la adaptación, el monitoreo y la evaluación.

Latinoamérica no está exenta de los efectos ante el cambio climático, presenta niveles de pobreza en varios países de la región que tienen una alta vulnerabilidad ante los cambios climáticos (Magrin *et al.*, 2014). En el período 2000-2013, los eventos climáticos extremos en el continente tuvieron como resultado 13,883 muertes y 53.8 millones de personas afectadas. Ascendieron a 52 mmd las pérdidas económicas. La agricultura, en la mayor parte de la región, es vulnerable

al cambio climático, inclusive ante un calentamiento moderado provocaría daños a los cultivos en diversos países de la región (Mendelsohn, 2009; Seo y Mendelsohn, 2008).

Comprender los efectos económicos del cambio climático facilita entender el tamaño potencial de los daños y a decidir cuánto se debería invertir en mitigación. Además, también ayuda a formular estrategias de adaptación al suministrar información de cómo, cuándo y donde debería darse dicha adaptación (Mendelsohn, 2009).

El conocimiento científico generado actualmente es relativamente robusto en capacidad para predecir los efectos que tendrán en los rendimientos de los cultivos ante cambios en la temperatura y precipitación. No obstante, se tiene una menor capacidad de suministrar información sobre las consecuencias del cambio climático en las enfermedades y plagas que perjudicarán a la agricultura, y sobre el efecto potencial de fertilización del dióxido de carbono en los cultivos (McCarl, 2010).

Referente a la adaptación al cambio climático, ésta se entiende como el rango de acciones que se toman como reacción respuesta a cambios en las condiciones climáticas locales o regionales (Smit *et al.*, 2000). Esto no es algo nuevo ya que, a través de la historia, la humanidad ha adaptado la agricultura ante las condiciones variables tanto económicas, sociales, y ambientales (Kurukulasuriya y Rosenthal, 2013). La diferencia fundamental estriba, en que actualmente las condiciones climáticas están cambiando a una mayor velocidad, no quedando claro que tan pronto se pueden adaptar los agricultores a dichos cambios (Jones *et al.*, 2012).

En diversas partes del planeta, los agricultores han empezado a implementar medidas de adaptación de bajo costo, entre las cuáles está la modificación de fechas de siembra o cambiar a otra variedad o tipo de cultivo. Pero es muy posible que dichas medidas sean efectivas únicamente frente a incrementos bajos de temperatura (Asafu-Adjye, 2014). Se piensa que esas medidas de adaptación voluntarias serán incapaces para enfrentar el cambio climático, siendo ineludible la

aplicación de medidas de adaptación planeadas que contemplen componentes locales, regionales, nacionales e internacionales (Howden *et al.*, 2008).

Existen algunas opciones de adaptación planificada para el sector agrícola, entre las cuáles se encuentra: la gestión óptima de recursos hídricos (sistemas de irrigación eficaces, reciclaje de agua, ahorro de agua, etc.); desarrollo de sistemas de producción sustentable; genotipos adaptados a condiciones de estrés; tecnificación de los cultivos; diseño de programas de consolidación de nuevos calendarios agrícolas por regiones; apoyo a sistemas de conservación de la diversidad biológica agrícola; mejora de la gestión de tierras; reubicación de plantaciones; elección de variedades y modificación de las fechas de plantaciones (IPCC, 2007; Parlamento Europeo, 2010; PNUD, 2007).

Las medidas con mayor probabilidad de efectividad son la expansión de la irrigación o el desarrollo de nuevas variedades de cultivos, que tienen costos elevados (Lobell *et al.*, 2008). Y las medidas de adaptación con mayor efectividad necesitarán de un esfuerzo interdisciplinario que integre a climatólogos, especialistas en desarrollo, ecólogos, geógrafos, ingenieros, economistas, agrónomos, etc. (McCarl, 2010).

Las medidas de adaptación al cambio climático pueden clasificarse de diferentes maneras. Si las medidas son reactivas se habla de medidas *ex post*, si se anticipan a los eventos se llaman *ex ante*. Si tienen beneficios exclusivamente para el individuo que toma la decisión, se conocen como medidas privadas, o si tienen beneficios para un grupo de personas o agentes, más allá del que toma la decisión, se le conocen como medidas públicas.

La adaptación también puede clasificarse como autónoma o planeada, la primera hace referencia a las acciones tomadas voluntariamente por personas o agentes (agricultores), la segunda son las acciones o políticas implementadas por alguna organización, gubernamental o no, con el fin de complementar, fomentar o facilitar las respuestas de los agentes ante el cambio climático (López y Hernández, 2016).

También se puede clasificar a la adaptación como incremental o transformativa, la primera alude a acciones de adaptación con el objetivo de mantener la esencia e integridad de un sistema o proceso (Park *et al.*, 2012), la segunda se refiere a las acciones que alteran las características fundamentales de un sistema como respuesta al clima y sus efectos (Kates *et al.*, 2012).

Actualmente se ha tenido poca evidencia empírica sobre el éxito y efectividad de las diversas medidas de adaptación planteadas, existiendo varias estrategias que se consideran recomendables. Una de ellas, es aumentar el conocimiento en los agricultores sobre el cambio climático, otra es mejorar los niveles de educación y las habilidades de las poblaciones rurales, también puede ser incorporar variedades resistentes a la temperatura, fortalecer los sistemas formales e informales de intercambio de semillas, etc. (Difalko *et al.*, 2012; Kabubo-Mariara y Karanja, 2007).

En América Latina las estrategias de adaptación son aisladas, de tipo espontáneo, enfocadas a la atención y recuperación en caso de desastres (CEPAL, 2009). Además, hay naciones que han implementado medidas como la gestión de inundaciones y sequías, la gestión de riego en agricultura, la conservación de ecosistemas claves y sistemas de alarma temprana (Adger, 2007). Existen pruebas de que las medidas de adaptación pueden representar un papel relevante en respuesta a los impactos del cambio climático en la agricultura (IPCC, 2007; Adger, 2007).

Según Fernández *et al.* (2012) en América Latina las medidas de adaptación, como el uso de variables mejoradas y el uso de irrigación, tienen el potencial de reducir considerablemente los efectos negativos del cambio climático en el sector agrícola.

Además, se menciona que pueden transcurrir varias décadas, antes de que se visualicen los efectos positivos de las medidas de adaptación. Y no se tiene información suficiente para diseñar una lista exhaustiva de las posibles medidas

de adaptación para Latinoamérica, existiendo una amplia cartera de medidas que están siendo probadas (Vergara *et al.*, 2014).

Los países de Latinoamérica se han esforzado en desarrollar políticas públicas, con el objetivo de incentivar la adaptación al cambio climático. Sin embargo, es fundamental que dichas intenciones se complementen con la voluntad política y de presupuestos conforme al tamaño de los retos, situación que desafortunadamente no es común en América Latina (López y Hernández, 2016).

Es en ese contexto que, en la COP21, celebrada del 30 de noviembre al 11 de diciembre del 2015 en París, Francia, resalta el énfasis en el estudio de metodologías para evaluar las necesidades de adaptación, con la finalidad de brindar asistencia a los países en desarrollo sin imponerles una carga indebida y reforzar la cooperación regional en materia de adaptación. Además, realiza una petición al Fondo Verde para el Clima en acelerar la prestación de apoyo a los países menos adelantados y a otras partes que son países en desarrollo para la formulación de sus planes nacionales de adaptación (COP21, 2015).

También se contempla poner en marcha, para el período 2016-2020, un proceso de examen técnico de la adaptación. Plantea incrementar la capacidad de adaptación a los efectos hostiles del cambio climático, promoviendo la resiliencia al clima, con un desarrollo con bajas emisiones de gases efecto invernadero, de tal forma que no comprometa la producción de alimentos.

Se establece, en la COP21, un objetivo mundial en su artículo 7, referente a la adaptación que consiste en incrementar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático, contribuyendo al desarrollo sostenible. Ya que la adaptación es un desafío mundial que incumbe a todos, llegando a ser un componente esencial como respuesta mundial a largo plazo frente al cambio climático.

Para implementar las acciones de adaptación al cambio climático se crea el Fondo de Medio Ambiente Mundial (FMAM), el Fondo para los Países Menos

Adelantados (FPMA) y el Fondo Estratégico de Cambio Climático (FECC), estos últimos dos con la prioridad de adaptación. Se han prometido apenas 292 mdd para el FPMA y 167 mdd para el FECC, con el objetivo de financiar las medidas de adaptación al cambio climático. Sin embargo, es importante realizar análisis sobre costos de adaptación al cambio climático para obtener financiamiento (FMAM, 2009).

En ese sentido, México hace énfasis en la necesidad de desarrollar metodologías y estudios a nivel nacional, local y sectorial, para modelar los costos y beneficios de la adaptación, con importancia en sectores y regiones sensibles al cambio climático, entre ellos la agricultura (INECC, 2012). Debido a que es una de las actividades con mayor afectación, en donde la producción de maíz, es un grano esencial en la agricultura mexicana.

3.3 El cambio climático y sus efectos en la producción de maíz en México

Se han realizado estudios de posibles escenarios climáticos que tendría en nuestro país en condiciones de duplicación de concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, caso del Estudio de Paris, donde se consideran incrementos de temperatura entre 2 y 4°C, mostrándose a México muy afectado y vulnerable ante sequías, erosiones y el manejo de recursos hídricos (Gay, 1995). Otras investigaciones centradas en el sector agrícola de México mencionan que es muy vulnerable y sensible a cambios en la disponibilidad de agua, así como a los cambios climáticos (Magaña y Conde, 2000; Conde *et al.*, 1997; Mendoza *et al.*, 1997)

En el caso de México, las proyecciones para el 2030 se espera que 43 razas de maíz muestren una disminución en sus áreas de distribución potencial y en cuatro razas registrar un incremento. Para el 2050, las proyecciones muestran que en 44 razas se reducirán las áreas de producción, sólo en tres razas incrementará, ello bajo el escenario A_2 . Considerando el escenario B_1 , se pronostica un incremento en la producción de seis razas de maíz para el 2030 y en cuatro para el 2050 (Ureta *et al.*, 2012). Otras proyecciones para los períodos 2011-2020, 2031-2040 y

2051-2060, pronostican una disminución en la superficie con condiciones agroclimáticas idóneas para la producción de maíz en el trópico, subtrópico y transicional. Por el contrario, en valles altos y muy altos se espera un incremento en la superficie para cultivar maíz (Ruiz *et al.*, 2011).

En ese mismo sentido, se prevé que nuestro país sufrirá cambios importantes en la temperatura y precipitación, lo que afectará una gran cantidad de sistemas físicos y biológicos. Destacándose principalmente los cambios en la precipitación que afectaran a regiones semiáridas, siendo sumamente complejo la predicción del clima estacional, puesto que el fenómeno del Niño o la Niña alteran las predicciones y modelizaciones que se realizan en los modelos de circulación general (Magaña y Gay, 2002).

En la agricultura, que consume más del 75% del agua, se verá afectada en mayor grado la agricultura de temporal, especialmente en áreas medianamente aptas para el cultivo del maíz, reduciéndose, por tanto, la extensión para su cultivo. Ello debido a la disminución de precipitación en varias partes del país. De manera que a nivel general se espera una reducción en el rendimiento del cultivo del maíz (Magaña y Gay, 2002).

En este contexto, se ha realizado una modelización para el año 2050 por Tinoco, Gómez y Monterroso (2011), en el cuál se pronostica para el estado de Jalisco, en el peor escenario, un aumento de 90.8% en la superficie no apta para el cultivo de maíz, y de 63.6% en el mejor escenario. Las zonas principalmente afectadas por estos cambios son la parte centro, norte y este del estado de Jalisco. Otros estudios mencionan que bajo el escenario A_2 para finales del siglo XXI, en el ciclo primavera-verano en la región Ciénega de Chapala, Jalisco se contemplan aumentos significativos en las temperaturas máximas, medias y mínimas, así como un aumento en el número de días con temperaturas mayores al umbral del cultivo de maíz, repercutiendo en que las plantas se expongan a mayores tiempos bajos estrés térmico, con una reducción en el ciclo fenológico del cultivo y con una

reducción en la cantidad demandada de agua de las plantas (Zarazúa, Ruiz, González, Flores y Ron, 2011).

Para Toluca, Estado de México, con el modelo Hadley bajo el escenario de emisiones A_2 y B_2 , se pronostica que para el año 2050 las temperaturas media, mínima y máxima y precipitación comparadas con los requerimientos termopluviométricos del maíz, el incremento de temperatura pronosticado beneficiará en general todas las fases fenológicas de maíz, pero la escasez de agua en la fase fenológica de floración, como también el excedente de agua en estado lechoso-masoso, pueden propiciar el desarrollo de plaga y enfermedades que perjudicarían la producción (Granados y Sarabia, 2013).

En el caso del centro de Guanajuato y Querétaro se visualiza una nula posibilidad de mantener cultivos de maíz de temporal, como consecuencia de una reducción de 5% a 10% en la precipitación en el período 2030-2050 (Magaña, 2010). Para Durango, se vislumbraba que bajo condiciones de cambio climático en el año 2020, se tendrá un incremento en la precipitación, que conducirá a un incremento en el rendimiento de maíz en 0.3 ton/ha, considerando que ajusten las fechas de siembra para beneficiarse al máximo de la temporada de lluvias (Sánchez *et al.*, 2012). En lo que respecta a Sinaloa, para finales del siglo XXI, en la zona Rio Fuerte (Distrito de Riego 075), se considera una disminución en el ciclo fenológico del maíz causando una disminución en su rendimiento (Ojeda *et al.*, 2011).

3.4 Metodologías para los efectos ante el cambio climático en la agricultura

En la década de los ochentas la mayoría de las investigaciones afirmaban que la producción agropecuaria no sería afectada por el cambio climático (Adams, 1989). La situación cambio en la siguiente década (noventas) fundamentada en el incremento de estudios y la calidad de las proyecciones climáticas y estudios con análisis económicos. Adams *et al.* (1998) cambia la postura anterior por la nueva visión que incluía la posibilidad de grandes efectos negativos para Norteamérica y América Latina.

Se presentarán los principales resultados de diversos trabajos relevantes sobre la relación entre el cambio climático y la agricultura, además se presenta la evolución metodológica referente al análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura.

Adams *et al.* (1988 y 1998) fueron los pioneros en analizar económicamente los efectos posibles del cambio climático en la agricultura de EUA, utilizando estimaciones de modelos experimentales de cultivos, aunado con modelos de programación matemática para analizar las implicaciones económicas probables del cambio climático en la agricultura bajo irrigación en el oeste de EUA. Los autores hallaron efectos económicos considerables que podrían alterar la estructura en la agricultura de esa región, haciendo hincapié que dichos efectos dependen básicamente del modelo climático utilizado y de los supuestos respecto al efecto fertilización del CO_2 , concluyendo que la cantidad de tierra bajo riego se tendría que expandir modificando los patrones regionales en la agricultura.

Kane, Reilly y Tobey (1992) fueron los primeros en realizar un análisis sobre los efectos del cambio climático en la agricultura a nivel mundial. Argumentaban que en una economía abierta no era posible considerar el efecto del cambio climático en un país en específico sin considerar lo que pasa con el resto del mundo. Ello debido a que los cambios en el clima son un fenómeno mundial que afecta los precios agrícolas internacionales por medio de los mercados globales. Por esta razón, no es recomendable utilizar estimaciones de cambios a nivel país para deducir los efectos económicos del cambio climático en los productores y consumidores agrícolas.

El modelo utilizado por ellos es el *Static World Policy Simulation* (Swopsim), y consiste en desagregar al planeta en 13 regiones/países y 20 bienes agropecuarios. El modelo es estático y de equilibrio parcial que no incluye los efectos en otros sectores ni permite cambios en la tecnología, la población u otras variables. Además, los resultados se asimilan como una fotografía de lo que

pasaría con la agricultura a nivel mundial asumiendo una determinada tecnología, estructura de producción y condiciones de demanda.

Los cambios climáticos se incorporan como incrementos/decrementos exógenos en la producción de países o regiones específicas. Como resultados resalta que en el escenario más pesimista el efecto neto en el bienestar a nivel global, es muy pequeño (0.47% del PIB), aparte de China ningún otro país o región tiene pérdidas de bienes por arriba del 1% del PIB.

Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1994) propusieron una nueva metodología, basada en el método ricardiano, para analizar el impacto en la medición de los efectos económicos del cambio climático en la agricultura. Resaltaron los efectos a nivel nacional o subnacional en sustitución del nivel regional o global. El método ricardiano propuesto por los autores era muy diferente a los modelos de función producción, ya que estos últimos se basaban en métodos estadísticos que estiman la relación entre producción y variables climáticas o en métodos experimentales calibrados con los resultados de cultivos que crecen en laboratorios bajo condiciones controladas. Esta información se incorporaba al modelo económico de simulación para predecir el rendimiento neto de los cultivos ante alteraciones climáticas.

Mendelsohn *et al.* (1994) argumentaron principalmente que el método de función producción tiende a sobrevalorar los efectos del cambio climático, debido a que no contempla de forma apropiada la adaptación por parte de los agricultores. Los resultados para EUA fueron notablemente menores a los obtenidos con el método de funciones de producción, y en algunos escenarios fueron resultados positivos.

La ventaja del método ricardiano es que incorpora las posibilidades de adaptación, llegando a ser el método con mayor popularidad para realizar análisis económicos sobre los efectos del cambio climático en la agricultura. Además, diversos autores lo consideran como algo intermedio entre los modelos que usan funciones de producción agronómicas que no captan del todo las posibilidades de adaptación y

los modelos de equilibrio generan computable que son apropiados especialmente para análisis muy agregados del sector agrícola (Schlenker *et al.*, 2005).

Reilly (1999) critica la metodología ricardiana porque dicho método, en el mejor de los casos, representa un equilibrio de largo plazo y no proporciona bastante información de cómo se llegue a él. Ante la gran incertidumbre que puede tener el clima de un año a otro, Reilly menciona que el enfoque ricardiano no puede responder a la pregunta ¿qué tan hábiles son los agentes para detectar y adaptarse de manera exitosa al cambio climático?

En ese mismo sentido, Adams *et al.* (1998) critican el modelo ricardiano por suponer que los agricultores conocen automáticamente cómo y cuándo responder a los cambios climáticos. Mendelsohn (2009) identifica que el método ricardiano es un análisis de estática comparativa (en lugar de ser dinámico) que supone que los agricultores ajustan sus insumos y prácticas agrícolas para tomar ventaja de las condiciones, incluyendo el clima, que está alrededor de la granja.

En ese contexto, Schlenker *et al.* (2005) mencionan que el método ricardiano tiene una debilidad muy importante referente a la modelación de irrigación. Para ellos, los efectos del cambio climático en tierras irrigadas deben ser modelados de forma independiente a los efectos en tierras no irrigadas. Además, las condiciones iniciales en los distintos países son diferentes, por ello el estudio adecuado del efecto del cambio climático en la agricultura debe contemplar esas diferencias para arrojar información con mayor precisión sobre las consecuencias posibles del cambio climático en la agricultura.

Schlenker y Roberts (2009) plantean algunas modificaciones al método ricardiano, entre las que resaltan el uso de días-grado¹⁷ (*degree-days*), la posibilidad de correlación espacial de los errores. Aparte limita su análisis a una muestra de condados de los EUA donde es posible practicar la agricultura sin necesidad de

¹⁷ Se refiere a que lo importante para explicar el crecimiento de los cultivos no es la temperatura promedio en un mes sino el número de días que la temperatura se encuentra en un rango adecuado. En su análisis, un día-grado es un día en el cuál la temperatura se encontró dentro del rango de 8 y 32°C.

irrigación. Los principales resultados del método revelan que el efecto del cambio climático posiblemente contemple una pérdida entre el 10 y 25% del valor de la tierra. Schlenker y Roberts (2009) desagregan con mayor detalle los datos de temperatura, encontrando efectos negativos en la producción de algodón, soya y maíz, que oscilan entre 30 y 82%, en función del escenario.

Deschenes y Greenstone (2007) realizan una crítica de las más duras al método ricardiano, que consiste en que el método es demasiado sensible a pequeños cambios de especificación. Según ellos, el modelo adolece de un problema de variables excluidas, generando un sesgo que explica, en gran parte, el efecto negativo del clima en la agricultura. Finalizan diciendo que el método ricardiano no genera resultados robustos, y como solución propone un método alternativo basado en un análisis de efectos fijos, en sustitución del análisis de sección cruzada, característico del método ricardiano, que toma en cuenta la rentabilidad agrícola en vez de utilizar el valor de la tierra. Los resultados muestran que el cambio climático genera en EUA un incremento (estadísticamente no significativo) en la rentabilidad agrícola de 1300 millones de dólares al año.

Al ser los resultados tan distintos entre el análisis de Schlendker *et. al.* (2005) y los de Deschenes y Greenstone (2007) generaron un debate en literatura debido a las implicaciones de política pública que tiene un resultado de efecto negativo contra uno positivo. El debate finalizó cuando Fisher *et. al.* (2012) mencionaron que el efecto positivo que obtuvieron Deschenes y Greenstone (2007), fue porque tuvieron un error en el manejo de los datos. Deschenes y Greenstone (2007) reconocieron los errores y al corregirlos sus resultados cambiaron de un aumento estadísticamente no significativo de 1300 mdd en ingresos netos anuales del sector agrícola a una reducción estadísticamente significativa de 4500 mdd anuales. Al utilizar un modelo climático más actual, las pérdidas estimadas ascendieron a 9900 mdd. La evidencia empírica señala que los efectos del cambio climático en la agricultura de EUA aparte de ser negativos posiblemente son cuantiosos.

Una crítica más al método ricardiano se relaciona con el uso de variables considerablemente agregadas, y cuando se promedian de manera excesiva (a nivel temporal, espacial o sectorial) los efectos negativos del cambio climático se subestiman (Hanemann y Dale, 2006). Como ejemplo, se incorpora la temperatura promedio cuando en realidad la temperatura oscila de forma espacial, por tanto, un cambio en la temperatura en un tiempo específico, en un escenario determinado, en un lugar específico, puede ser muy diferente al cambio en otro lugar. De manera que, si los efectos del cambio climático fueran lineales en el grado de calentamiento, la variación temporal y espacial serían de menor relevancia. Sin embargo, la mayoría de los efectos no son lineales y son una función convexa del calentamiento, existiendo umbrales y daños que incrementan de manera exagerada conforme el umbral se rebasa. Esto ocasiona que los daños se subestimen cuando se ignora la variación temporal y espacial y se usa la temperatura promedio (López y Hernández, 2016).

Referente al problema del método ricardiano que no considera apropiadamente la irrigación, se soluciona estimando una ecuación para tierra irrigada y otra para tierra no irrigada. El aspecto negativo es suponer que la irrigación es un factor exógeno. Kurukulasuriya *et al.* (2011) resolvieron este problema estimaron que la endogeneidad de la irrigación es modelada de manera explícita, obteniendo como resultados, en 11 países de África, que la irrigación es una decisión que se ve alterada por variables climáticas, por ellos los modelos que no se corrigen por la endogeneidad de la irrigación están sesgados.

Adicionalmente Lobell y Burke (2010) analizaron tres métodos econométricos (series de tiempo, datos panel y sección cruzada), frecuentemente utilizados para determinar la relación entre variables climáticas y la producción agrícola. Realizaron un análisis basado en un modelo calibrado con el método experimental para simular series de producción de maíz en aproximadamente 200 sitios en el África subsahariana, utilizaron los tres métodos econométricos y compararon los resultados. En general los modelos econométricos son buenos para captar aspectos fundamentales de la relación entre temperaturas, precipitación y

producción. El método de series de tiempo es más adecuado para estimar la respuesta a la precipitación. El método de datos panel y sección cruzada son buenos para estimar el efecto de la temperatura.

En Brasil se llevó a cabo un estudio por Da Cunha *et al.* (2015) realizando una estimación econométrica en la que se modela la decisión de adopción de irrigación para un país latinoamericano. Los autores muestran que ante variaciones climáticas el valor de la tierra irrigada es más estable que el de la no irrigada. Galindo *et al.* (2015) realiza un modelo ricardiano estructural donde la elección de cultivos es endógena.

Ponce *et al.* (2014) realizan un estudio en el sector agrícola en Chile para determinar los efectos del cambio climático, para ello utiliza un modelo matemático de programación llamado Programación Matemática Positiva, haciendo simulaciones de Monte Carlo para incorporar la incertidumbre, teniendo como resultados que los productores de frutas serán perjudicados en mayor grado que los productores de granos.

En la tabla 1 se muestra la evolución metodológica referente a los modelos utilizados para estimar el impacto del cambio climático en la agricultura.

Tabla 1. Evolución de los modelos para estimar el efecto del cambio climático en la agricultura		
Autor	Critica	Aportación/Mejora
Adams <i>et. al.</i> (1988 y 1998)	Pioneros en analizar económicamente efectos posibles en la agricultura en EUA ante el cambio climático.	Que dichos efectos dependen básicamente del modelo climático utilizado y de los supuestos respecto al efecto fertilización del CO_2 , concluyendo que la cantidad de tierra bajo riego se tendría que expandir modificando los patrones regionales en la agricultura.
Kane, Reilly y Tobey (1992)	Primeros en realizar un análisis sobre los efectos del cambio climático en la agricultura a nivel mundial. Argumentaban que en una economía abierta no era posible considerar el efecto del cambio climático en un país en específico	Modelo utilizado por ellos es el Static World Policy Simulation (Swopsim), y consiste en desagregar al planeta en 13 regiones/países y 20 bienes agropecuarios. El modelo es estático y de equilibrio parcial que no incluye los efectos en otros sectores ni permite

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

	sin considerar lo que pasa con el resto del mundo.	cambios en la tecnología, la población u otras variables. Los resultados son una fotografía de los que pasaría.
Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1994)	Propusieron una nueva metodología, basada en el método ricardiano, para analizar el impacto en la medición de Los efectos económicos del cambio climático en la agricultura. El método ricardiano propuesto por los autores era muy diferente a los modelos de función producción.	Mendelsohn, <i>et. al.</i> (1994) argumentaron principalmente que el método de función producción tiende a Sobrevalorar los efectos del cambio climático, debido a que no contempla de forma apropiada la adaptación por parte de los agricultores. La ventaja del método ricardiano es que incorpora las posibilidades de adaptación, llegando a ser el método con mayor popularidad para realizar análisis económicos sobre los efectos del cambio climático en la agricultura.
Reilly (1999)	Critica la metodología ricardiana porque dicho método, en el mejor de los casos, representa un equilibrio de largo plazo y no proporciona bastante información de cómo se llegue a él.	Ante la incertidumbre que puede tener el clima de un año a otro, Really menciona que el enfoque ricardiano no puede responder a la pregunta ¿qué tan hábiles son los agentes para detectar y adaptarse de manera exitosa al cambio climático?.
Adams <i>et. al.</i> (1998)	Critican el modelo ricardiano por suponer que los agricultores conocen automáticamente cómo y cuándo responder a los cambios climáticos.	
Schlenker <i>et. al.</i> (2005)	Modelo ricardiano tiene debilidad en la modelación de irrigación.	Los efectos del cambio climático en tierras irrigadas deben ser modelados de forma independiente a los efectos en tierras no irrigadas. Además las condiciones iniciales en los distintos países son diferentes, así que un estudio adecuado del efecto del cambio climático en la agricultura debe contemplar esas diferencias para arrojar información con mayor precisión sobre las consecuencias posibles del cambio climático en la agricultura.
Schlenker y Roberts (2009)	Plantean modificaciones al método ricardiano	Resaltan el uso de días-grado ¹⁸ (degree-days), la posibilidad de correlación espacial de los errores. Desagregan con mayor detalle los datos de temperatura,
Deschenes y	Critica a modelo ricardiano: método	Método ricardiano no genera resultados

¹⁸ Se refiere a que lo importante para explicar el crecimiento de los cultivos no es la temperatura promedio en un mes sino el número de días que la temperatura se encuentra en un rango adecuado. En su análisis, un día-grado es un día en el cuál la temperatura se encontró dentro del rango de 8 y 32°C.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

Greenstone (2007)	demasiado sensible a pequeños cambios de especificación. el modelo adolece de un problema de variables excluidas, generando un sesgo que explica, en gran parte, el efecto negativo del clima en la agricultura	robustos, y como solución propone un método alternativo basado en un análisis de efectos fijos, en sustitución del análisis de sección cruzada, característico del método ricardiano, que toma en cuenta la rentabilidad agrícola en vez de utilizar el valor de la tierra.
Hanemann y Dale (2006)	Critica a modelo ricardiano: variables considerablemente agregadas, y cuando se promedian de manera excesiva (a nivel temporal, espacial o sectorial) los efectos negativos del cambio climático se subestiman	Esto ocasiona que los daños se subestimen cuando se ignoran variables como la variación temporal y espacial y se usa la temperatura promedio
Kurukulasuriya et. al. (2011)	Modelo ricardiano no considera apropiadamente la irrigación. Solución estimaron que la endogeneidad de la irrigación es modelada de manera explícita	Concluyendo que la irrigación es una decisión que se ve alterada por variables climáticas, por ellos los modelos que no se corrigen por la endogeneidad de la irrigación están sesgados.
Lobell y Burke (2010)	Analizaron tres métodos econométricos (series de tiempo, datos panel y sección cruzada), frecuentemente utilizados para determinar la relación entre variables climáticas y la producción agrícola.	En general los modelos econométricos son buenos para captar aspectos fundamentales de la relación entre temperaturas, precipitación y producción. El método de series de tiempo es más adecuado para estimar la respuesta a la precipitación. El método de datos panel y sección cruzada son buenos para estimar el efecto de la temperatura.
Ponce et. al. (2014)	Utiliza un modelo matemático de programación llamado Programación Matemática Positiva para determinar efectos en la agricultura debido al cambio climático	Resultados muestran que productores de frutas serán perjudicados en mayor grado que los productores de granos.
Fuente: Elaboración propia		

3.5 Actualización de escenarios de cambio climático

A partir del 2015 el INECC ha desarrollado en México un proyecto denominado “Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación”. En este proyecto se consideraron los modelos de mayor aceptación a nivel internacional, tomándose 15 Modelos individuales de

Circulación General (MCG) y el desarrollo de un ensamble REA, los cuáles se muestran en la tabla 2 (Fernández *et al.*, 2015).

Los 15 MCG están diseñados para realizar un análisis sobre el cambio climático en períodos de tiempo: a un futuro cercano (2015-2039) y un futuro lejano (2075-2099), ambos para el caso específico de México.

Los escenarios de cambio climático son proyecciones climáticas bajo los diferentes escenarios de forzamiento radiativo¹⁹ (expresados en W/m², vatios por metro cuadrado), es decir, Trayectorias Representativas de Concentraciones de CO₂ (RCP, por sus siglas en inglés) en dos escenarios: emisiones bajas (RCP 4.5) y emisiones altas (RCP 8.5).

Los científicos, por parte del IPCC, han definido un nuevo grupo de escenarios, al que han denominado “Trayectorias de concentraciones representativas” (RCP), los cuáles se enfocan en las emisiones antropogénicas, excluyendo los cambios en impulsos naturales como el forzamiento solar o volcánico o las emisiones naturales de CH₄ o N₂O. Los RCP son representaciones del forzamiento radiativo total calculado para el año 2100 respecto al año 1750, a partir del cual inician las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. Cabe mencionar que los RCP pueden representar una variedad de políticas climáticas, es decir, cada RCP puede resultar de distintas combinaciones de futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales.

Los RCP se basan en una combinación de modelos de evaluación integrados, modelos climáticos simples, modelos de química de la atmósfera y modelos del ciclo del carbono. Según las simulaciones más recientes de concentraciones de CO₂ al año 2100 llegarían a 421ppm (escenario RCP2.6), 538ppm (RCP4,5), 670ppm (RCP6,0) y 936ppm (RCP8,5). Si a lo anterior se adicionan las concentraciones de CH₄ y N₂O, las concentraciones de CO₂ equivalente

¹⁹ El forzamiento radiativo es el cambio en el flujo de energía causado por un impulsor y se calcula en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

combinadas alcanzarían 475ppm, 630ppm, 800ppm y 1313ppm respectivamente (IPCC, 2013).

Tabla 2. Modelos de Circulación General (MCG)		
MODELO	INSTITUCIÓN	País
BCC_CSM1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	China
CAnESM	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	Canadá
CNRMCM5	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM-CERFACS)	Francia
CSIRO_Mk3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	Australia
GFDL_CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	Estados Unidos
GISS_E2_R	NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA-GISS)	Estados Unidos
HADGEM2_ES	Met Office Hadley Centre (MOHC)	Reino Unido
INM	Russian Institute for Numerical Mathematics	Rusia
IPSLcm5a_lr	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)	Francia
MIROC_esm	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC)	Japón
MIROC_ESM_CHEM	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC)	Japón
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC)	Japón
MPI_ESM_LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Alemania
MRI_CGCM3	Meteorological Research Institute (MRI)	Japón
NCC_NorESM1	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological Institute (NCC)	Noruega
REA	INECC (IMTA, CCA-UNAM Y CICESE)	México

Fuente: Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R. I., Zavala Hidalgo, J., y Romero Centeno, R. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Obtenido de Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

3.6 El Modelo CNRMCM5

Los modelos de circulación general atmósfera-Océano Acoplados (MCGOA) son una herramienta útil para la comprensión del sistema climático (mecanismos, variabilidad espacio-temporal, niveles de previsibilidad, etc.), y llevar a cabo proyecciones climáticas futuras. El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) aporta un protocolo experimental estándar y una infraestructura que facilita a una comunidad de científicos analizar los MCG acoplados en forma sistemática, facilitando el desarrollo de modelos y estudios sobre el cambio climático y la comprensión de fluctuaciones en el clima pasado. Este modelo fue desarrollado por el Centro Nacional de Investigación Médica-*Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique* (CNRM-GAME) y el Centro Europeo de Investigación y Formación *Avancée*, compartiendo esfuerzos para desarrollar la familia de MCGOA CNRM-CM.

Las deficiencias y cualidades fundamentales del CNRM-CM5 se muestran en términos de equilibrio preindustrial y la climatología actual, mientras los resultados se contrastan con la versión anterior del modelo CMIP3 llamada CNRM-CM3 (Decharme *et al.*, 2010).

Entre las mejoras se han reducido los sesgos en términos de temperatura media superficial, presión a nivel del mar, etc., que se incorporan en el CNRM-CM5.1 mejorando la circulación atmosférica a gran escala en varias regiones, sin embargo, se tienen errores significativos en la precipitación estacional y forzamientos radiativos en la nube, entre los cuales se encuentra la subestimación crítica de nubes bajas en el lado este de las cuencas oceánicas tropicales o la falta de nubosidad en los continentes del hemisferio norte. Referente al clima oceánico, los sesgos se ha reducido significativamente, siendo

simulada razonablemente a gran escala la circulación oceánica, la representación del hielo marino también es más realista sobre el Ártico, a diferencia de Antártida donde se subestima en el verano austral (Voldoire *et al.*, 2013).

Cabe mencionar que las mejoras en el clima promedio actual no garantizan que la sensibilidad climática actual se encuentre mejor representada en el modelo. Sin embargo, se ha incorporado la simulación del efecto de los aerosoles, incorporándose el efecto indirecto de los aerosoles de sulfato y se revisaron las propiedades de aerosoles estratosféricos relacionados a las erupciones de los volcanes.

3.7 El Modelo HADGEM2 ES

Este modelo se encuentra formado por la atmósfera física subyacente y 5 componentes oceánicos con esquemas para caracterizar los aspectos de la Tierra. Los componentes que se han agregado a este modelo son los ecosistemas terrestres y oceánicos, la química troposférica, los componentes de ecosistema TRIFFID y diat-HadOCC, que se incorporan para simular el ciclo del carbono y sus interacciones con el clima. El diat-HadOCC es un modelo del sistema de la Tierra del *Mett Office Hadley Centre* de Reino Unido. Este modelo tiene una resolución atmosférica de N96 (1.875 ° por 1.25 °) con 38 niveles verticales con el modelo superior a ~39 km. Maneja una resolución del océano de 1°, que incrementa a 1/3 ° en el ecuador, con 40 niveles de profundidad. El modelo incluye un ciclo interactivo de carbono terrestre y oceánico, además de un modelo dinámico de vegetación. Cuenta con un esquema interactivo de química troposférica, que permite simular la evolución de la composición atmosférica y las interacciones con aerosoles atmosféricos. El paso del tiempo del modelo es de 30 minutos para los submodos de atmósfera y tierra y de 1 hora para el submodelo del océano, con un acoplamiento entre la atmósfera y el océano cada 24 horas (Collins *et al.*, 2011; Jones *et al.*, 2011).

El módulo de aerosol contiene una representación numérica de hasta ocho especies de aerosoles troposféricos: sulfato de amonio, polvo mineral, sal marina,

carbono negro de combustibles fósiles (FFBC), carbono orgánico de combustibles fósiles (FFOC), aerosoles de combustión de biomasa, orgánicos secundarios (también llamados biogénicos) y aerosoles de nitrato de amonio. Todas las especies ejercen un efecto radiativo directo. Todas las especies, excepto el polvo mineral y los aerosoles FFBC, ejercen el primer y el segundo efecto indirecto (Bellouin *et al.*, 2011).

Los conjuntos de datos requeridos por HadGEM2-ES para el modelado en aerosol troposférico son emisiones de dióxido de azufre (SO_2), sulfuro de dimetilo (DMS), amoníaco (NH_3) y aerosoles primarios de carbono negro y orgánico de la combustión de combustibles fósiles y quema de biomasa. Las emisiones de aerosoles de sal marina y polvo mineral y emisiones de DMS basadas en el océano se calculan de forma interactiva, por lo que no se requieren conjuntos de datos de emisión.

Las emisiones de NH_3 ya se encuentran depositadas en la superficie. Al igual que con SO_2 , las emisiones de NH_3 provenientes de la quema de biomasa no están incluidas. Para representar fuentes naturales, conjuntos de datos para emisiones de NH_3 por animales salvajes, suelos naturales y el océano se agregan a las distribuciones CMIP5 (Bouwman *et al.*, 1997).

3.8 El Modelo MPI ESM LR

El desarrollo del modelo MPI ESM LR se desarrolló porque su modelo predecesor ECHAM5 tenía deficiencias que se identificaron. El modelo que nuevo se centra en elementos esenciales como: la temperatura media global de la corrida del control preindustrial fue de polarización calidad a aproximadamente 14.3°C y la simulación de control nuestro una derivada débil de aproximadamente 0.2 K en 500 años, mientras que simultáneamente el modelo tenía demasiado hielo marino ártico grueso con un máximo que se centró cerca del polo norte, en lugar de al norte del archipiélago canadiense (Mauritsen *et al.*, 2012).

El nuevo modelo incorpora mejoras de su predecesor, entre las cuales se incluye una mayor resolución vertical atmosférica representando mejor la estratosfera, una nueva formulación del albedo de hielo y nieve, un cambio menor en el exceso de flotabilidad de convección, climatologías renovadas de ozono y aerosol, mejor acoplamiento entre la atmósfera y la superficie, y distintas correcciones de errores (Mauritsen *et al.*, 2012).

Después de realizar las mejoras, se redujeron de manera significativa los sesgos de baja presión media del nivel de viento y el nivel del mar en el hemisferio norte en simulaciones solo de la atmósfera, aunado a un impacto positivo en el gradiente de temperatura global al Ártico e hizo la distribución del hielo marino ártico mucho mas realista cuando se ejecuta el modelo en modo acoplado (Giorgetta *et al.*, 2013).

Un problema desafiante e interesante en el modelo MPI-ESM es la distribución de las precipitaciones tropicales entre la tierra y el océano. El modelo prefiere las precipitaciones en el océano, a diferencia de las observaciones que indican una preferencia mayor por las precipitaciones en la tierra. Esto es interesante debido a que afecta la compresión de los procesos convectivos profundos, y llega a ser un problema importante en la inclusión de la generación dinámica en el modelo del sistema terrestre, debido a que la precipitación submarina genera sesgos en la vegetación que pueden degradar la representación del ciclo del carbono (Collins *et al.*, 2011).

El modelo consiste en los modelos acoplados de circulación general para la atmósfera y el océano, ECHAM6 (Stevens *et al.*, 2013) y MPIOM (Jungclaus *et al.*, 2013), y los modelos de subsistema para tierra y vegetación JSBACH (Reick, Raddatz, Brovkin, & Gayler, 2013; Schneck, Reick Christian, & Raddatz, 2013) y para la biogeoquímica marina HAMOCC5 (Ilyina *et al.*, 2013), respectivamente. Al incluirse estos procesos en el modelo, el ciclo del carbono se ha agregado al sistema del modelo y esto llega a ser la principal diferencia conceptual entre el modelo MPI-ESM y su modelo predecesor ECHAM5/MPIOM (Jungclaus *et al.*, 2006).

3.9 El Modelo GFDL_CM3

El modelo GFDL_CM3 fue desarrollado por el Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos (GFDL por sus siglas en inglés) en Estados Unidos. El modelo se centra en las características de formulación atmosférica y simulación del modelo climático. Este modelo (GFDL) en su versión 3 (CM3) fue uno de los principales modelos que contribuyó al quinto informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Lucarini & Ragone, 2011).

Este modelo esta basado en la experiencia de su antecesor (CM2.1). El nuevo modelo mejoro en dos direcciones. La primera, enfatizo las necesidades del modelado del sistema terrestre donde la biogeoquímica interactiva del océano, la vegetación terrestre y el ciclo interactivo del carbono son críticos. Esto condujo a dos nuevos modelos del sistema de la tierra, que se diferencian solo por sus componentes oceánicos. La segunda, se refiere a las prioridades del CM3, que incluyen las interacciones aerosol-nube, las interacciones química-climáticas y los enlaces entre la troposfera y la estratosfera. Se continuo utilizando los mismos componentes de hielo marino y marítimo que uso el CM2.1 (Griffies *et al.*, 2011).

Los cambios realizados en la atmosfera de CM3 dan como resultado un patrón complejo de cambios en los flujos radiativos en relación con CM2.1. Otro cambio notable es que en el modelo CM3 respecto al CM2, se nota un poco más cálido el océano Pacifico Norte, esto debido a los cambios radiativos observados por Donner *et al.* (2011). Cabe mencionar que los cambios en los flujos radiativos de la parte superior de la atmosfera se reflejan en la superficie de los flujos oceánicos.

Referente a la temperatura de la superficie del mar (SST por sus siglas en inglés) se ve directamente afectada por el acoplamiento a la atmosfera, el hielo marino y la escorrentía del rio desde la tierra. Los patrones de sesgo SST forma una métrica primaria utilizada para juzgar la integridad de una simulación climática, con sesgos impactados por el conjunto de flotabilidad de la superficie del océano y los flujos del momento, así como el realismo del flujo oceánico superficial. El sesgo

medio global que tienen ambos modelos es común. Sin embargo, existen cambios notables, evidenciados por los sesgos de la raíz cuadrada media clasificados por bandas de latitud. En general, el modelo CM3 tiene un error de la raíz cuadrada media mas pequeño en la latitudes altas, a diferencia del CM2.1 que tiene un error en la raíz cuadrada media menor en los trópicos (Griffies *et al.*, 2011).

3.10 Ensamble REA

Este método fue propuesto y desarrollado por (Giorgi & Mearns, 2003) para proporcionar mayor relevancia a los MCG, logrando tener errores y sesgos más pequeños con respecto a las variables observadas por los MCG.

El REA se calcula a partir de la anomalía de los 15 modelos de la tabla 2, a través de la ecuación 1, por ejemplo, para la anomalía de temperatura (ΔT):

$$\overline{\Delta T} = \overline{\Delta T} = \frac{\sum_i R_i \Delta T_i}{\sum_i R_i} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde R_i es el peso de cada modelo (i) por punto de malla, definido por el producto de dos criterios: el de tendencia ($R_{B,i}$) y el de convergencia ($R_{D,i}$), donde los parámetros m y n pueden ser usados para darle más peso a un criterio que a otro:

$$R_i = \left[(R_{B,i})^m \times (R_{D,i})^n \right]^{1/(m+n)} \quad \text{ecuación 2}$$

El criterio de tendencia nos indica que tan diferente es el modelo “i” respecto a los datos observados, en el período 1961-2000. De manera que, entre menor sea la diferencia de las dos bases de datos, mayor es la confiabilidad de tal modelo. Para ello se necesita tener los datos históricos de los modelos a utilizar. Este factor se obtiene por la ecuación:

$$R_{\pi,i} = \left[\frac{\varepsilon}{|B_i|} \right]^m \quad \text{ecuación 3}$$

El criterio de convergencia es la distancia del modelo “i” respecto al resto de los modelos, es decir, del promedio REA. Este criterio corresponde a un método iterativo, donde la primera iteración se toma en cuenta el promedio simple para calcular la distancia $[D_{i1}] = [\Delta T_i - \overline{\Delta T}_i]$, que se utiliza en las ecuaciones 1 y 2. Con dicha ecuación se recalcula la distancia entre cada modelo (iteración 2) con el promedio REA $[D_{i1}] = [\Delta T_i - \overline{\Delta T}_i]$, y así sucesivamente. Este proceso iterativo finaliza cuando llega al criterio de convergencia (considerado en este cuando $[D_{in} - D_{in-1} \leq 0.01]$). De manera que entre más chica sea la distancia del modelo “i” mayor será el valor de éste criterio.

$$R_{D,i} = \left[\frac{\varepsilon}{|D_i|} \right]^n \quad \text{ecuación 4}$$

En las ecuaciones 3 y 4 se muestra el parámetro ε , que corresponde a una medida de la variabilidad natural. ε se define como la diferencia entre los valores máximos y mínimos de este promedio.

Referente al rango (delta) de incertidumbre del ensamble promedio del REA, se calcula la raíz cuadrática media de la diferencia de los cambios utilizando los resultados de las ecuaciones 1 (anomalía) y 2 (peso):

$$\overline{\delta}_{\Delta T} = \left[\frac{\sum_i R_i \left(\Delta T_i - \overline{\Delta T} \right)^2}{\sum_i R_i} \right]^{1/2} \quad \text{ecuación 5}$$

De manera que los límites superior e inferior de la incertidumbre están determinados por:

$$\Delta T_+ = \Delta T + \delta_{\Delta T}$$
$$\Delta T_- = \Delta T - \delta_{\Delta T} \quad \text{ecuación 6}$$

De manera general, se ha mencionado las posturas existentes en torno al calentamiento global de nuestro planeta, y cuál ha sido la inclinación institucional en torno a la problemática. Pese a ello, se reconoce que existe un calentamiento de nuestro planeta, documentado a través de diferentes evidencias. En base al reconocimiento del incremento de temperatura en nuestro planeta, se han desarrollado diferentes modelos para realizar pronósticos de temperatura en el corto, mediano y largo plazo, utilizando diferentes escenarios. Sin embargo, aún existe la dificultad para realizar un pronóstico, pero las investigaciones giran en torno a ello, perfeccionando las herramientas actualmente desarrolladas e intentando determinar cómo inciden variables tan importantes (como la temperatura y precipitación) en actividades fundamentales, como la alimentación, en nuestro planeta.

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se aborda el enfoque que tiene la presente investigación, sus alcances, el diseño y las variables de la misma. Posteriormente se analizan y procesan los datos utilizando herramientas econométricas, que permitirán definir la relación que existe entre las variables de estudio.

4.1 El conocimiento y la ciencia

La humanidad siempre ha mostrado su curiosidad y preocupación constante por descubrir y conocer el mundo en el que se desenvuelve, sus leyes, su sentido, entre otras cosas (Sabido, 1992). La forma de entender ese mundo donde se desarrolla la humanidad, es a través de la generación de procesos de conocimiento, que pueden provenir de manera informal o de manera formal. Se centra la atención en el conocimiento formal, del cual se desarrolla la presente investigación, porque este ha llegado a ser un modelo organizado sobre cómo concebir el mundo y es enriquecido de ciertas características que provienen, en primer instancia, de la experiencia personal del individuo que lleva a cabo este proceso (Ladrón de Guevara, 1997).

Este conocimiento formal es al que se le ha llamado ciencia, porque se desarrolla por medio del método científico. Entendiéndose como ciencia al conocimiento sistemático que el individuo utiliza sobre una realidad determinada, formulada en un conjunto de explicaciones coherentes y lógicas, proposiciones, a partir de las cuáles se validan y formulan alternativas de esa realidad (Méndez, 1999). Además, ese conocimiento científico debe cumplir con ciertos requisitos, entre los cuáles se encuentran:

- La identificación de características, propiedades y relaciones de los objetos sobre los cuáles se construyen las proposiciones teóricas (leyes).
- El uso de un lenguaje en la formulación de sus proposiciones.
- El apoyo en una lógica para la construcción de su teoría.

- Que se recurra al método científico en la validación de sus teorías, que implica la aplicación de procesos de observación, experimentación, inducción, análisis y síntesis.

Dicho conocimiento, desarrollado a partir de un creciente cuerpo de ideas, al que llamamos ciencia, es caracterizado como conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por tanto falible. Según Tamayo y Tamayo (2004), el conocimiento científico es una manera por medio de la cuál la humanidad otorga un significado, al mundo que lo rodea, con sentido de realidad. Siendo este último el que orilla al individuo científico a plantear explicaciones, a partir de observar, descubrir, explicar y predecir, los fenómenos que lo rodean, generando conocimiento que cambia al que se tiene de la realidad, y que, al lograrlo cambia la realidad, cambiando la base y partida de nuevas investigaciones, incrementando la cantidad de conocimiento, al cual se le llama ciencia.

En ese sentido, para el desarrollo de la presente investigación, cuyo fin es determinar la manera en que influye el cambio climático en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en el caso de Michoacán y establecer las bases metodológicas para determinar los costos de adaptación en la producción de maíz en grano en Michoacán, se comenzó por definir el enfoque de la misma, porque a partir de ello se desprenden las diferentes técnicas y herramientas útiles para el procesamiento de información que se recabó durante la propia investigación, es decir, es la base mediante la cuál se sustentan los métodos utilizados. Una vez definido el enfoque, se delimitó el alcance de la presente investigación, que permitió definir la estrategia a seguir. Una vez logrado la claridad en la investigación, se continuó con la definición de las variables implicadas, que serán objeto de estudio. Finalmente, se definieron las herramientas metodológicas que se utilizaron para el procesamiento de las variables y obtener los resultados de la investigación.

A continuación, se desarrollan los puntos mencionados.

4.2 Enfoque de la investigación

Desde la antigüedad han existido diferentes corrientes del pensamiento, entre las cuales se encuentra el empirismo, el materialismo dialéctico, el positivismo, la fenomenología y el estructuralismo. Todas estas corrientes han contribuido a generar nuevas formas de realizar búsquedas del conocimiento, siendo entre las más comunes, el positivismo a partir del cual se desarrollan las investigaciones cuantitativas y cualitativas, así como las investigaciones mixtas o también llamadas investigaciones multimodal.

Bajo el positivismo, corriente de interés para la presente investigación, y el desarrollo de los enfoques cualitativos y cuantitativos, Grinnell (1997) menciona que ambos enfoques son muy similares en los procesos de investigación, ya que comparten características como:

- Llevar a cabo observación y evaluación de fenómenos.
- Establecer suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
- Demostrar el grado en que las suposiciones o ideas tiene fundamento.
- Revisar tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
- Proponer nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas, o incluso para generar otras.

Es en el positivismo que la investigación cuantitativa, siendo de interés para la presente investigación este enfoque, se ve inspirada, aplicando la metodología única utilizada en las ciencias exactas y naturales (Bonilla y Rodríguez, 1997). Tomando como punto de partida los métodos de investigación de las ciencias naturales y aplicarlos a estudios sociales, cuyo propósito es explicar los fenómenos estableciendo regularidades en los mismos, es decir, encontrar leyes de carácter general que expliquen el comportamiento social en estudio. Con esta finalidad la ciencia se vale de la observación directa, de la comprobación y la experiencia, fundamentándose en el análisis de los hechos reales, a partir de los

cuáles ha de realizarse una descripción lo más neutra, objetiva y completa posible (Poppers, 1992; Rogers y Bouey, 2005).

Por tanto, en el positivismo, bajo el cual se desarrolló la presente investigación, se refutan aquellas proposiciones cuyo contenido no se encuentre directa o indirectamente en correspondencia con los hechos comprobados, rechazándose todo juicio de valor. Por el contrario, el conocimiento tiene validez, logrando el estatus de científicidad, si se encuentra fundamentado en la observación sistemática de los hechos sensibles. Esto implica prescindir de creencias, percepciones subjetivas, prejuicios y valoraciones que alteran el conocimiento científico (Sánchez, 2005).

Bajo el enfoque cuantitativo es imprescindible la medición, porque a través de la cuantificación y medición de una serie de repeticiones, se logran formular tendencias, nuevas hipótesis y construir teorías. Pero como es difícil contar todo, bajo este enfoque, se desarrolla la estadística que permite acercarse a la totalidad, utilizando muestras. De manera que la estadística, llega a ser una forma de poder cuantificar todo, sin la necesidad de contar cada elemento que compone el todo, llegando a ser una de las metodologías más idóneas y coherentes del paradigma positivista (Orozco, 1997).

En base a los argumentos anteriores, es que se decidió desarrollar la presente investigación, con un enfoque cuantitativo, ya que se pretende establecer las bases metodológicas para determinar los costos de adaptación en la producción de maíz en grano en México y en el caso particular de Michoacán. Delimitando la investigación al maíz de temporal, utilizando el valor de la producción de maíz grano de temporal, como expresión del maíz, y la precipitación pluvia media y temperatura medias fundamentales del clima. Para cumplir con lo anterior, se desarrolló la investigación bajo la observación sistemática de las variables a estudiar (mencionadas más adelante), generando hipótesis, instrumentos y métodos de medición, manipulación de variables y control experimental de resultados.

Una vez definido el enfoque de la investigación, el siguiente paso es definir los alcances de la investigación, tema del cuál se aborda en el siguiente apartado.

4.3 Alcances de la investigación

En las investigaciones cuantitativas existen diferentes alcances de estudios, que permiten al investigador elegir las más apropiadas según el tipo o naturaleza de la investigación que se desarrolla. Entre los alcances de investigaciones más comunes se encuentra la investigación exploratoria, la descriptiva, la correlacional y la explicativa. La elección de un alcance de investigación depende del estado del arte sobre el problema de investigación y de la perspectiva que se pretenda dar al estudio (Sánchez, 2005). En el alcance de la investigación se establece el compromiso de un investigador, al generar resultados con el desarrollo de su proyecto.

En este caso, la investigación es de tipo *exploratoria*, debido a que casi no existen estudios en nuestro país y en el caso particular de Michoacán, sobre el impacto del cambio climático en el valor de la producción de maíz en grano de temporal, siendo uno de los cereales más vulnerables. Que además será útil como bases procedimentales para construir una metodología que determine el cálculo sobre costos de adaptación, porque es uno de los requisitos al obtener financiamiento externo para hacer frente al cambio climático en los países en vías de desarrollo y países menos adelantados (Pardinas, 2005; Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

La investigación *descriptiva* es aquella donde se especifican las propiedades, características, perfiles, procesos, objetos o cualquier fenómeno que sea objeto de análisis, para ello se evalúan o recolectan datos sobre los conceptos y/o componentes del fenómeno a investigar. De manera que, el investigador debe definir, o visualizar, qué se medirá (conceptos, variables, componentes, etc.) y sobre qué se recolectarán los datos (personas, objetos, hechos, etc.) para el procesamiento de la información recabada (Danhke, 1989).

En el caso particular de la presente la investigación, es *descriptiva* porque para medir el impacto del cambio climático en la producción de alimentos²⁰, se definieron primeramente los indicadores más apropiados para medir las variaciones del cambio climático (Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R. I., Zavala Hidalgo, J., y Romero Centeno, R., 2015). Y en el caso de la producción de alimentos, se eligió el cereal de mayor importancia en nuestro país, en base a su calidad nutricional, siendo el maíz el más adecuado. De manera que, se definieron los indicadores más apropiados y en los cuáles se registren las estadísticas que describen a este cereal.

Continuando con los alcances de la investigación, la misma también es parcialmente *correlacional*, debido a que, para determinar el impacto del cambio climático en el valor de la producción de maíz en grano de temporal (y demás variables) en México y en Michoacán, se utilizan modelos econométricos, derivados de la estadística, que permiten medir el impacto que tiene una variable sobre la otra, definidas en la investigación descriptiva. De manera que, al utilizar los modelos econométricos, nos permite medir el grado de influencia que tiene la precipitación pluvial y la temperatura en el valor de la producción, en el precio medio rural, en la superficie siniestrada y en la producción de maíz en grano de temporal, es decir, se están correlacionando las variables que representan el cambio climático con las variables que representan al maíz. Este tema se desarrolla más adelante (Gómez, 2006; Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

Finalmente, la investigación es también parcialmente *explicativa*, porque pretende explicar cómo se relacionan las variables para determinar el impacto que tiene el cambio climático en el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán. Los estudios explicativos centran su interés en explicar por qué se relacionan dos o más variables, y van dirigidos a responder las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales (Reynolds, 1986; Pardinás, 2005).

²⁰Que es el segundo objetivo, por orden de importancia, en su agenda de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), tendiendo especial interés por desarrollar costos de adaptación al cambio climático.

Como se puede notar, la investigación tiene diferentes alcances según la naturaleza de la misma, y como se pretende medir el impacto que tiene el cambio climático sobre el valor de la producción de maíz en grano de temporal a nivel nacional y para Michoacán, siendo necesario definir las variables que se utilizaron, desarrollando dicho punto en el siguiente apartado.

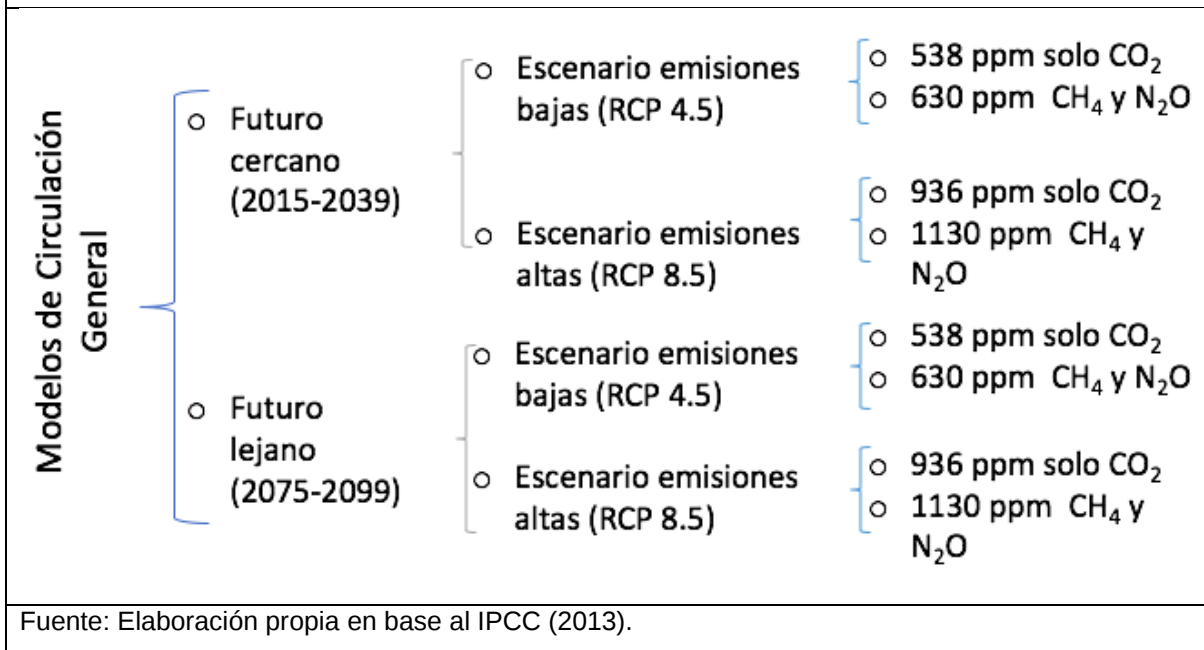
4.4 Diseño de la investigación

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), preocupado por el cambio climático, realizando esfuerzos por mitigar y adaptarse a los pronósticos globales de incremento de temperatura, ha desarrollado diferentes escenarios sobre el cambio climático, considerándose tres períodos de tiempo: el futuro cercano (2015-2039), el futuro mediano (2040-2074) y el futuro lejano (2075-2099). Considerándose estos períodos, se realizan pronósticos de concentración de emisiones de GEI, desarrollándose tres escenarios posibles. El primero de ellos corresponde a bajas emisiones (RCP 4.5), el segundo escenario se refiere a emisiones medias (RCP 6) y el tercer escenario corresponde a emisiones altas (RCP 8.5), ver gráfico 6.

Los RCP son trayectorias de concentraciones representativas, medidas en W/m^2 , vatios por metro cuadrado, y se enfocan en las emisiones antropogénicas, excluyendo los cambios en impulsos naturales como el forzamiento solar o volcánico o las emisiones naturales de CH_4 o N_2O y se calculan para el año 2100 respecto al año 1750 (IPCC, 2013).

De manera que, de los períodos mencionados anteriormente, la investigación se centra en el futuro cercano, debido a la limitación de la serie de tiempo utilizada en las variables a considerar.

Gráfico 6. Escenarios de emisiones de gases efecto invernadero (GEI)



Para medir el impacto que tiene el cambio climático en el maíz grano de temporal, se ha utilizado un diseño experimental que tiene como base la metodología del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) consistente en un índice numérico adimensional que permite valorar la susceptibilidad y el nivel de respuesta con base a tres componentes: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2007). Se determina el conjunto de variables que permiten evaluar cada uno de los indicadores. A continuación, se describen:

Grado de exposición: es la magnitud y escala de variación del clima al cual se está expuesto;

Sensibilidad: es el nivel de susceptibilidad de un sistema a los efectos del cambio climático:

Capacidad de adaptación: la habilidad de un sistema para ajustarse a diversos efectos del cambio climático con el propósito de aprovechar potenciales beneficios o bien, afrontar los retos que se impongan.

A su vez, cada indicador se encuentra formado por distintos componentes, mencionados a continuación:

- 1) Grado de exposición
Precipitación y temperatura.
- 2) Sensibilidad
Consumo.
Grado de confiabilidad.
Demanda / Oferta.
Grado de presión.
Tarifa/Costos de producción.
- 3) Capacidad de adaptación
Eficiencia física.
Eficiencia comercial.

De manera que los indicadores relacionados con la variable grado de exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación, en su mayor parte están estrechamente relacionados con los costos de producción de maíz blanco. Por dicha razón, la presente investigación se enfocará en determinar el análisis de sensibilidad, tomando como variables para el estudio la precipitación media, temperatura media, precio del maíz blanco de temporal por tonelada, precio medio rural de maíz blanco de temporal, superficie siniestrada de maíz blanco de temporal, valor de la producción de maíz grano de temporal.

4.5 Variables de investigación

Para medir el impacto del cambio climático en la producción de alimentos²¹, se definieron los indicadores más apropiados, entre los cuales se encuentran, la precipitación pluvial y temperatura, particularmente para el cambio climático, porque a través de estos se perciben las variaciones en el clima, y son incorporados en los modelos de circulación general (MCG) para pronosticar el

²¹ Cabe mencionar que este es el segundo objetivo, por orden de importancia, en la agenda de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), tendiendo especial interés por desarrollar costos de adaptación al cambio climático.

clima (Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R. I., Zavala Hidalgo, J., y Romero Centeno, R., 2015).

En el caso de la producción de alimentos, se eligió al maíz porque forma parte de tres cereales de mayor calidad nutricional a nivel mundial²², formando parte esencial en las dietas alimenticias en diversos países.

Para medir el impacto del cambio climático en la alimentación, se toman indicadores del maíz como el valor de la producción de maíz en grano de temporal (expresada en miles de pesos), el precio medio rural de maíz (expresado en pesos por tonelada), la superficie siniestrada de maíz grado de temporal (expresada en toneladas) y la producción de maíz grano de temporal (expresada en toneladas). Se eligió el maíz de temporal porque este depende del agua de lluvias, haciéndolo más vulnerable a variaciones climáticas, principalmente por no contar con un sistema de riego. Además, en el caso del maíz, aproximadamente el 70 por ciento es de temporal, representando la mayor parte de la producción nacional.

Adicionalmente, a nivel de entidad federativa, se consideró el valor de la producción de maíz grano de temporal porque en él se encuentra implícito los costos de producción y el precio por kilogramo de maíz, que al ser multiplicado por el volumen de producción expresa con mayor detalle las variaciones del cultivo en términos monetarios, según la entidad federativa. Se utilizó el precio medio rural por entidad federativa del maíz grano de temporal, ya que en él se refleja el precio que tiene el maíz por kilogramo según el estado de la república, en el cual va implícito los costos de producción. También, se consideró la superficie siniestrada de maíz grano de temporal en toneladas, que se obtiene de la diferencia entre la superficie cultivada y la superficie cosechada, según la entidad federativa, mostrando la pérdida de maíz en toneladas que se tiene. Finalmente, se toma en cuenta la producción de maíz grano de temporal porque representa el volumen de producción en toneladas, que se tiene por entidad federativa. Una vez esclarecido

²² Los cereales de mayor calidad nutricional son, por orden de importancia, arroz, maíz y trigo

los indicadores y/o variables a utilizar en la investigación se continua con la recopilación de información por entidad federativa

De manera que, una vez especificadas las variables a utilizar en la investigación, se clasifican en dependientes e independientes, para después definir el significado de cada una de ellas.

Una vez definido el modelo base, así como las variables a utilizar se definirán tanto las variables dependientes e independientes de análisis. Las variables dependientes son aquellas que sufren variaciones según el comportamiento de otras variables. En esta clasificación se encuentra: el valor de la producción de maíz en grano en miles de pesos mexicanos por toneladas, el precio medio del maíz blanco y en grano de temporal por kilogramo, el precio medio rural de maíz en grano de temporal, la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal y la producción de maíz en grano de temporal.

Las variables independientes son aquellas otras variables que producen variaciones en las variables dependientes, entre las cuáles se encuentra la temperatura media y precipitación pluvial media.

Una vez realizado la clasificación de variables, definimos a continuación cada una de ellas.

Temperatura media: antes de definir el término, se entiende por temperatura el estado del ambiente que se manifiesta en el aire y en los cuerpos en forma de calor, en una graduación que fluctúa entre dos extremos que, convencionalmente, se denominan caliente y frío. Por lo tanto, es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente, y se puede medir en grados Celsius (°C), Kelvin (°K) o Fahrenheit (°F). La temperatura media anual es el valor que se obtiene a partir del promedio de las temperaturas medias registradas en cada uno de los doce meses del año (OSMAR, 2019). Su distribución, al igual que la precipitación, es muy irregular, y también está estrechamente ligada a la configuración del relieve. Para el caso de México, la

temperatura se mide en grados Celsius (°C), mostrando la información de la variable en dicha medida.

Precipitación pluvial media: la precipitación es un fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua condensado en las nubes cae a la superficie de la tierra en forma de lluvia, granizo, rocío, escarcha, nieve, etc.; se mide en un pluviómetro y sus unidades son mm/año, siendo un factor limitativo de gran interés en ecología. La precipitación pluvial media es el valor que se obtiene a partir del promedio de las lluvias registradas en los treinta días, si es mensual, o en los doce meses, si es anual (CRID, 2000). En el caso de México la precipitación pluvial media se obtuvo mensual y anual, según la utilidad de las variables a utilizar.

Valor de la producción de maíz en grano: valor en moneda nacional, expresado en miles de pesos corrientes, del volumen de producción obtenida al final del ciclo productivo. Es un resultado de la multiplicación del precio medio rural con el volumen de producción por producto, incluyendo los cultivos cíclicos y los perennes. (SIAP, 2019).

Precio frecuente del maíz blanco de temporal de Michoacán: expresado en pesos corrientes que más se repiten por kilogramo comercializado en bulto de 50 kilogramos de maíz blanco de temporal de origen michoacano. Los precios son al mayoreo (SNIIM, 2019).

Precio medio rural de maíz en grano de temporal: precio pagado al productor por la venta de primera mano, ya sea que se considere la parcela, el predio y/o la zona de producción; esto significa que el precio no incluye los beneficios económicos obtenidos por los productores a través de programas de apoyo otorgados por el gobierno federal y/o estatal; tampoco debe considerar gastos de traslado y clasificación cuando el productor lo lleva al centro de venta (SIAP, 2019).

Superficie siniestrada de maíz en grano de temporal: área sembrada, espesada en hectáreas (ha), que en el ciclo agrícola y mes de reporte, registra pérdida total por

afectación de fenómenos climáticos o por plagas y enfermedades. Se contabiliza la superficie siniestrada totalmente y se identifican las causas que motivaron la pérdida. Entre los fenómenos climáticos a considerar están sequías, exceso de humedad, heladas, bajas temperaturas, vientos, inundaciones, granizadas y ondas cálidas (SIAP, 2019).

Producción de maíz en grano de temporal: cantidad de producto que se logró levantar en determinada superficie cosechada, espresada en toneladas (ton) (SIAP, 2019).

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Una vez especificado, clasificado y definida las variables de la investigación, se utilizan los modelos econométricos, como herramienta metodológica, para el procesamiento de información, ya que estos son útiles cuando se desean realizar pronósticos. Para ello, se utilizan series históricas de datos para cada una de las variables²³, que son objeto de la investigación. En ese sentido, se explica a continuación, en qué consisten los modelos econométricos.

El modelo econométrico es una representación simplificada de la relación entre dos o más variables que permite estimaciones empíricas. Básicamente consiste en un modelo estadístico o matemático para que represente la relación entre dos o más variables. Y estos modelos se utilizan para realizar estimaciones sobre el efecto que tiene una variable sobre otra y hacer predicciones acerca del valor futuro de las variables (Gujarati y Porter, 2014).

Es por ello que esta herramienta fue utilizada en la presente investigación, ya que interesó medir la relación que tienen las variables independientes (precipitación pluvial media y temperatura media) sobre las variables dependientes (valor de la producción de maíz en grano, precio medio, precio medio rural, superficie siniestrada y producción). Además, esta técnica permitió realizar un pronóstico en

²³ Las series históricas se obtuvieron del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

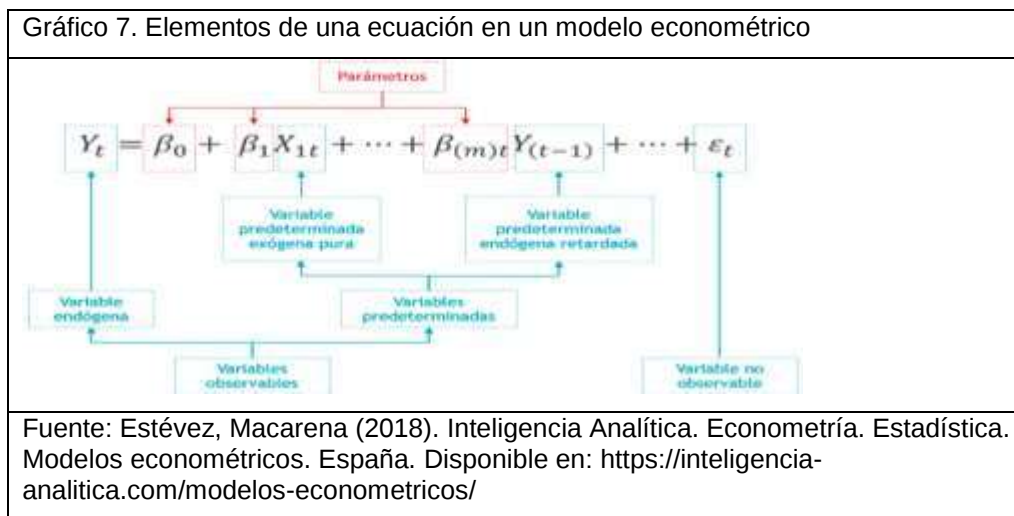
el futuro sobre el valor de la producción de maíz en grano de temporal a nivel nacional, y para el caso específico de Michoacán, al registrarse variaciones en la precipitación pluvial media y la temperatura media a nivel nacional y en Michoacán, permitiendo construir un cuadro en diferentes escenarios según variaciones en la precipitación pluvial media y la temperatura.

Los modelos econométricos se encuentran formados por una variable endógena (dependiente) y una o más variables exógenas (independientes) o explicativas, los parámetros y, un error (variable no observable), ver gráfico 7 (Wooldridge, 2015).

La variable endógena, es aquella que es explicada por otro conjunto de variables independientes, que son determinadas por otros factores fuera del modelo.

Las variables exógenas son las que determina o explican a la variable endógena y que son independientes entre sí. O bien puede ser variables endógenas retardadas si son retardos de la variable a explicar.

El error recoge los efectos de otros parámetros desconocidos, es decir, son variables aleatorias que recogen aquello que no es posible recabar con el resto de variables, dicho de otra forma, todos aquellos factores que influyen en la variable dependiente que no son considerados, pero que por sí solos no influyen de manera significativa.



Los parámetros son números que cuantifican que tan grande o pequeña es la importancia de cada variable.

4.7 Tipos de modelos econométricos

Los modelos econométricos pueden llegar a ser sencillos, considerando una variable endógena y varias explicativas (una ecuación) o más complejas implementando simultáneamente varias ecuaciones (Gujarati y Porter, 2014).

Según el tipo de información a utilizar, estos pueden ser de tres tipos:

Datos de corte transversal. Este modelo se refiere a la recopilación de datos en un momento del tiempo de un agente o individuo, un ejemplo de ello pueden ser los censos.

Series de tiempo. En este modelo la recopilación de datos de una misma variable se realiza a lo largo del tiempo, y tiene aplicaciones muy cotidianas como puede ser la recabación de datos sobre el PIB de una nación en un período de 20 años.

Datos panel. Se recopila información durante un período de tiempo (10, 20 o 30 años, etc.) para cada unidad de información. Por ejemplo, se recaba información de varios indicadores económicos de una misma empresa durante un período de 20 años.

En la presente investigación se utilizarán los modelos econométricos de series de tiempo de regresión lineal. Así como también, el empleo de modelos econométricos de datos panel, permitiendo medir el impacto de las variables independientes sobre las dependientes. A continuación, se explica en qué consiste el modelo de regresión lineal simple, para posteriormente finalizar con el modelo econométrico de datos panel.

4.8 Modelo econométrico de regresión lineal simple

Este tipo de modelo permite explicar la variable dependiente (Y) en términos de la variable independiente (X), y se representa mediante la siguiente función:

$$Y = f(X) \quad (1)$$

Además, si se considera que la relación f , que liga a Y con X , es lineal, entonces se considera la siguiente ecuación:

$$Y_{it} = \beta_1 + \beta_2 X_{it} \quad (2)$$

Sin embargo, las relaciones entre las variables descritas en la ecuación anterior difícilmente son exactas, por el contrario, son aproximaciones en las cuales se omiten variables de importancia secundaria, por ello, se debe incluir un término de perturbación aleatoria, conocido como error estocástico (ε), que incorpora todos los efectos distintos de X , que influyen sobre la variable dependiente (endógena), pero que de manera individual ninguno de ellos es relevante (Wooldridge, 2015). De tal forma que, dicha expresión matemática es de la siguiente forma:

$$Y_{it} = \beta_1 + \beta_2 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

La ecuación anterior expresa una relación lineal, en la cuál solo existe una variable explicativa (independiente), nombrándose a ella una relación lineal simple. El calificativo “simple” se debe a que existe solamente una variable explicativa. Si suponemos que se tiene T observaciones de la variable $Y(Y_1, Y_2, \dots, Y_T)$ y de las correspondientes observaciones de $X(X_1, X_2, \dots, X_T)$. Si extendemos la ecuación anterior a la relación entre observaciones, tenemos el conjunto de T ecuaciones:

$$Y_1 = \beta_1 + \beta_2 X_1 + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon_2$$

...

$$Y_T = \beta_1 + \beta_2 X_T + \varepsilon_T \quad (4)$$

El conjunto de ecuaciones anteriores se puede escribir de manera abreviada, como se muestra a continuación:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \varepsilon_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

Si deseamos agregar una segunda variable independiente (exógena), la ecuación quedaría expresada de la siguiente manera:

$$Y_{it} = f(X_{1it}, X_{2it}) \quad (6)$$

Esta ecuación puede desagregarse mejor para denotar los valores de la variable dependiente, siendo la ecuación como corresponde:

$$Y_{it} = \beta_{1it} + \beta_{2it}X_{1it} + \beta_{3it}X_{2it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Dónde:

Y es la variable dependiente, endógena, explicada o regresando...

X es la variable independiente, exógena, explicativa, de control, regresor, etc.

β_{1it} es el término constante, es decir, es el valor de Y cuando X y ε_{it} son igual a cero.

β_{2it} es el parámetro de pendiente de la variable X_{1it} , es decir, mide la relación entre X_{1it} e Y , cómo cambia Y cuando se producen modificaciones en X_{1it} .

β_{3it} es el parámetro de la pendiente de la variable X_{2it} , es decir, mide la relación entre X_{2it} e Y , cómo cambia Y cuando se producen modificaciones en X_{2it} .

Si todos los demás factores contenido en el error (ε_{it}) se mantienen constantes ($\varepsilon_{it} = 0$), X tiene un efecto lineal sobre Y , es decir,

$$\Delta Y_{it} = \beta_{2it} \Delta X_{2it} \quad \text{si} \quad \Delta \varepsilon = 0 \quad (8)$$

En este modelo en general el intercepto y la pendiente de los parámetros permiten diferenciar cada variable en un período de tiempo.

La finalidad de la regresión es la estimación o determinación de los parámetros β_1 y β_2 , a partir de la información registrada en las observaciones que tenemos

(Wooldridge, 2015). El método más apropiado para obtener dichos estimadores consiste en minimizar la suma de los cuadrados de los residuos, es decir,

$$S = \sum_{t=1}^T \hat{\epsilon}_t^2 \quad (9)$$

Los estimadores que se tiene con la fórmula anterior, se le llama mínimos cuadráticos, que tienen características estadísticas deseables (Gujarati y Porter, 2014).

La forma en que se obtiene los estimadores $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$ se describe a continuación. La finalidad es minimizar la suma de los cuadrados de los residuos (S). Para obtenerlos, primeramente, expresamos S en función de los estimadores $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$:

$$S = \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_t)^2 \quad (10)$$

Para minimizar S, derivamos parcialmente respecto a $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$:

$$\frac{\partial S}{\partial \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_t)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_t) X_t \quad (11)$$

Los estimadores mínimo-cuadráticos se obtienen igualando las anteriores derivadas a cero:

$$-2 \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_t) = 0$$

$$-2 \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_t) X_t = 0 \quad (12)$$

Operando, se tiene que

$$\sum_{t=1}^T Y_t = \hat{\beta}_1 T + \hat{\beta}_2 \sum_{t=1}^T X_t$$

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

$$\sum_{t=1}^T Y_t X_t = \hat{\beta}_1 \sum_{t=1}^T X_t + \hat{\beta}_2 \sum_{t=1}^T X_t^2 \quad (13)$$

Las ecuaciones (13) se denominan ecuaciones normales de la recta de regresión. Resolviendo este sistema, según puede verse en el recuadro adjunto, a partir de (21) se obtiene de forma inmediata el estimador de $\hat{\beta}_2$:

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})(X_t - \bar{X})}{\sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2} \quad (14)$$

La ecuación 14 se obtiene del siguiente procedimiento:

Dividiendo la ecuación 13 por T se obtiene:

$$\bar{Y} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \bar{X} \quad (\text{ecuación 15})$$

Donde

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{t=1}^T Y_t}{T} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{t=1}^T X_t}{T} \quad (16)$$

De acuerdo con la anterior expresión se obtiene

$$\hat{\beta}_1 = \bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X} \quad (17)$$

Sustituyendo $\hat{\beta}_1$ en la segunda ecuación normal (13) se tiene que

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T Y_t X_t &= (\bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X}) \sum_{t=1}^T X_t + \hat{\beta}_2 \sum_{t=1}^T X_t^2 \\ \sum_{t=1}^T Y_t X_t - \bar{Y} \sum_{t=1}^T X_t &= \hat{\beta}_2 \left[\sum_{t=1}^T X_t^2 - \bar{X} \sum_{t=1}^T X_t \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Por otra parte,

$$\begin{aligned}
 \sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})(X_t - \bar{X}) &= \sum_{t=1}^T (Y_t X_t - \bar{X} Y_t - \bar{Y} X_t + \bar{Y} \bar{X}) \\
 &= \sum_{t=1}^T Y_t X_t - \bar{Y} \sum_{t=1}^T X_t - \bar{X} \sum_{t=1}^T Y_t + T \bar{Y} \bar{X} = \\
 &= \sum_{t=1}^T Y_t X_t - \bar{Y} \sum_{t=1}^T X_t - \bar{X} T \bar{Y} + T \bar{Y} \bar{X}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{t=1}^T Y_t X_t - \bar{Y} \sum_{t=1}^T X_t \\
 \sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2 &= \sum_{t=1}^T (X_t^2 - 2\bar{X} X_t + \bar{X}^2) \\
 &= \sum_{t=1}^T X_t^2 - 2\bar{X} \sum_{t=1}^T X_t + T \bar{X}^2 = \sum_{t=1}^T X_t^2 - 2\bar{X} \sum_{t=1}^T X_t + \bar{X} \sum_{t=1}^T X_t \\
 &= \sum_{t=1}^T X_t^2 - \bar{X} \sum_{t=1}^T X_t
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

Teniendo en cuenta (19) y (20), entonces (18) se puede expresar así:

$$\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})(X_t - \bar{X}) = \hat{\beta}_2 \left[\sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2 \right]
 \tag{21}$$

A su vez $\hat{\beta}_1$ se obtiene a través de la relación (17). Es decir,

$$\hat{\beta}_1 = \bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X} \quad (22)$$

Dividiendo numerador y denominador (15) por T se tiene que

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\frac{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})(X_t - \bar{X})}{T}}{\frac{\sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2}{T}} = \frac{cov(X, Y)}{var(X)} \quad (23)$$

Según la ecuación (23), la estimación de $\hat{\beta}_2$ se obtiene dividiendo la covarianza muestra de X e Y por la varianza muestral de X. Dado que la varianza de X no puede ser negativa, el signo de $\hat{\beta}_2$ será el mismo que el de la covarianza muestral de X e Y (Gujarati y Porter, 2014).

4.9 Modelo econométrico de datos panel

Para la presente investigación se utilizará la econométrica como herramienta de procesamiento de datos, en su variante de datos panel. El modelo de datos panel consiste en un grupo de datos de sección cruzada que se observan a lo largo de un tiempo, comúnmente utilizado para variables de personas, hogares, empresas, estados o países (Hill, Griffiths y Lim, 2011).

Las secciones cruzadas están formadas por unidades (individuos) denominados por la letra N y un número de períodos observados utilizando la letra T. Los datos panel tienen diferentes variantes que tienen diferentes cambios y oportunidades. Los diferentes tipos de datos panel, según Kennedy (2003), son los siguientes:

- Largo y angosto, entendiéndose por largo la descripción de la dimensión del tiempo y por angosto implicando un número pequeño relativamente de unidades de sección cruzada ($T > N$), o
- Corto y ancho, lo cuál indica que se están observando varios individuos sobre un período de tiempo relativamente corto ($T < N$), o
- Largo y ancho, indicando que tanto para N y T son relativamente largos.

Los datos panel largo y angosto consisten en un conjunto de varias unidades en un período de tiempo. Como ejemplo, puede tratarse de una investigación de plantas y equipamiento dadas por $N=10$ empresas como largo y $T=20$ años. El modelo panel es angosto porque éste contiene solo $N=10$ empresas y es largo porque $T>N$.

Cabe mencionar que existen datos de sección cruzada y series de tiempo que no constituyen un modelo de datos panel, como, por ejemplo, el recolectar datos individuales de una población en varios períodos de tiempo, pero que los datos recolectados no coinciden en el mismo período de tiempo.

La ecuación que describe un modelo econométrico de datos panel es la siguiente:

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} + \delta t + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

Dónde:

Y = es la variable dependiente

X = son las variables explicativas observables para cada i , que puede tomar distinto valor en cada momento del tiempo (tenemos k variables)

Z = son las variables explicativas inobservables que afectan a Y pero no cambian a lo largo del tiempo (tenemos s variables)

ε = que es el término de error del modo que recoge aquellos factores inobservables que, para cada i , puede tomar un valor distinto en cada período. Este término de error se hace la suposición que cumple con los supuestos habituales del modelo de regresión. Generalmente en se le suele denominar error idiosincrásico o error estocástico.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

T = es la variable que recoge el período del tiempo al que se refiere la observación

Las variables X, por lo general, son las variables de interés, es decir, las variables cuyo impacto en Y estamos interesados en conocer.

Las variables Z son aquellas responsables de la heterogeneidad inobservable.

Como las variables Z's no son observables y, por lo tanto, no hay forma de obtener información sobre $\sum \gamma_p Z_p$, generalmente se recurre a definir un término α_i conocido como el efecto no observado o efecto fijo, que representa el impacto conjunto de las Z's sobre la Y.

De manera que de la ecuación

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} + \delta t + \varepsilon_{it} \quad (25)$$

El modelo estaría expresado de la siguiente manera:

$$\alpha_i = \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} \quad (26)$$

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it} \quad (27)$$

Si las variables X lograrán recabar todos los factores relevantes que explican la variable Y, desaparecería entonces el término α . En dicho caso, se podría estimar el modelo por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) tomando la muestra formada

por todas las observaciones de todos los períodos. Las estimaciones de MCO serían insesgadas y consistentes siempre que las X 's y el error idiosincrásico fuesen independientes.

Pero si los α importan, como no los observamos en realidad estaríamos estimando:

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + v_{it}$$

$$v_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

(28)

En esta situación si suponemos que el término idiosincrásico está incorrelacionado con las X 's. MCO podría ser sesgado e inconsistente si α_i está correlacionado con las X 's. Este sesgo se denomina sesgo de heterogeneidad (Hill, Griffiths y Lim, 2011).

Generalmente, la razón principal de utilizar datos panel es porque queremos permitir que los efectos fijos estén correlacionados con las variables explicativas.

De manera que, en el modelo de efectos fijos, la intención es manipular el modelo para que el efecto fijo (término no observado) desaparezca y podamos estimar los parámetros de interés.

4.10 Modelo de efectos fijos

4.10.1 Estimador de primeras diferencias

La técnica de primeras diferencias consiste en eliminar el efecto no observado restando, para cada individuo, la observación correspondiente a t menos la observación $t-1$. Quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it}$$

$$Y_{it-1} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit-1} + \alpha_i + \delta(t-1) + \varepsilon_{it-1}$$

$$Y_{it} - Y_{it-1} = \sum_{j=2}^k \beta_j (X_{jit} - X_{jit-1}) + \delta + \varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1}$$

$$\Delta Y_{it} = \sum_{j=2}^k \beta_j \Delta X_{jit} + \delta + \varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1}$$

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it}$$

(29)

$$\varepsilon_{it} = \rho \varepsilon_{it-1} + v_{it}$$

$$\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1} = v_{it} - (1 - \rho) \varepsilon_{it-1}$$

$$\cong v_{it} \text{ si } \rho \text{ esta proximo a } 1$$

(30)

$$\Delta Y_{it} = \sum_{j=2}^k \beta_j \Delta X_{jit} + \delta + \varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1}$$

(31)

Se observa que el término de error es $(\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1})$. Su valor en el período anterior será $(\varepsilon_{it-1} - \varepsilon_{it-2})$. De manera que las primeras diferencias dan lugar a una correlación de medias móviles si ε_{it} satisface los supuestos del modelo de regresión.

Pero si ε_{it} muestra autocorrelación AR(1) y ρ está próximo a 1, tomar primeras diferencias resuelve este problema de autocorrelación.

4.10.2 Estimador intragrupos / within-groups estimator

Este segundo método de estimación sigue un procedimiento diferente para eliminar los efectos fijos. A este modelo se le conoce también como transformación de efectos fijos.

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it} \quad (32)$$

Primeramente, hay que calcular la media muestral de cada una de las variables para cada individuo. El efecto no observado no se ve alterado porque es el mismo para todas las observaciones un mismo individuo.

$$Y_i = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{ji} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_i \quad (33)$$

Después, se debe restar la segunda ecuación a la primera. De esta forma eliminamos el efecto no observado.

$$Y_{it} - Y_i = \sum_{j=2}^k \beta_j (X_{jit} - X_{ji}) + \delta(t - t) + \varepsilon_{it} - \varepsilon_i$$

(34)

A este método se le conoce como estimador *within-groups* porque el modelo explica las variaciones de la variable dependiente alrededor de la media en función de variaciones en las variables explicativas en torno a sus medias (Hill, Griffiths y Lim, 2011).

A pesar de que con este método se resuelve el problema de sesgo por heterogeneidad inobservable, se paga un precio. Primeramente, el término constante β_1 y cualquiera de las X 's que permanezcan constantes para cada individuo a lo largo del tiempo, desaparecen.

Además, el hecho de eliminar el término constante puede no ser relevante, pero la imposibilidad de medir el efecto de variables que no cambian sí.

Otro problema presente con este método es que la variable dependiente en el modelo transformado puede tener varianzas mucho más pequeñas que en el original. Ello puede tener consecuencias adversas en la precisión de las estimaciones de los coeficientes (Hill, Griffiths y Lim, 2011).

4.11 Estimación con variables ficticias o artificiales

En este método se estima explícitamente los efectos fijos del modelo. Para llevarlo a cabo se tiene que definir un conjunto de variables ficticias A_i , donde $A_i = 1$ si una observación corresponde al individuo i y es =0 en otro caso. El modelo se representa de la siguiente manera:

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

(35)

$$Y_{it} = \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + \sum_{i=1}^n \alpha_i A_i + \varepsilon_{it} \quad (36)$$

Siendo posible así la estimación de los parámetros por MCO, pero considerando que no se pueden incluir tantas variables artificiales como individuos existentes en la muestra porque, en este caso, caeríamos en la trampa de las variables artificiales. Por este motivo, se borra el término constante del modelo. Se debe considerar que si se tiene muchos individuos en la muestra, este método no es práctico porque tendríamos que estimar muchos parámetros. Cuando $T=2$ se puede demostrar matemáticamente que este modelo es equivalente al estimado *within-groups*, es decir, nos permite obtener las mismas estimaciones.

4.12 Modelo de efectos aleatorios

Cuando las variables observadas X se mantienen constantes a lo largo de un tiempo para cada individuo, no es una herramienta útil la regresión de efectos fijos porque no permite medir el efecto de esas variables. Bajo estas circunstancias, existe un enfoque alternativo llamado modelo de efectos aleatorios, que nos permite resolver este problema, pero que se encuentra sujeto a dos condiciones.

$$\begin{aligned} Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} + \delta t + \varepsilon_{it} \\ Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it} \\ &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + u_{it} \quad u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

(37)

La primera condición. El tratamiento de cada una de las variables Z se puede hacer como si se hubiesen extraído de una distribución aleatoria. Bajo este supuesto, α_1 puede ser considerada como un efecto aleatorio (por ello su nombre de dicho enfoque). Así que el modelo puede formularse con un nuevo término de error u_{it} .

$$\begin{aligned}
 Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} + \delta t + \varepsilon_{it} \\
 Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it} \\
 &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + u_{it} \quad u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}$$

(38)

La segunda condición. Las variables Z_p se distribuyen de forma independiente a las variables X . El no cumplir este supuesto, implica que la estimación del modelo sería sesgada e inconsistente. Y por tanto se recomienda utilizar el modelo de efectos fijos.

Si se cumplen las 2 condiciones se debería utilizar el modelo de efectos aleatorios. Sin embargo, existe otro problema, el termino u_{it} puede mostrar cierta forma de auto correlación, de manera que el método de estimación debe tenerlo en cuenta.

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} + \delta t + \varepsilon_{it}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it} \\
 &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + u_{it} \quad u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it} \\
 E(u_{it}) &= E(\alpha_i + \varepsilon_{it}) = E(\alpha_i) + E(\varepsilon_{it}) = 0
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

Lo primero a realizar es comprobar si se cumple los otros supuestos del modelo de regresión.

1. Suponemos sin pérdida de generalidad que $E(\alpha_1) = 0$, entonces $E(u)=0$

$$\begin{aligned}
 Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \sum_{p=1}^s \gamma_p Z_{pi} + \delta t + \varepsilon_{it} \\
 Y_{it} &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \alpha_i + \delta t + \varepsilon_{it} \\
 &= \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + u_{it} \quad u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it} \\
 E(u_{it}) &= E(\alpha_i + \varepsilon_{it}) = E(\alpha_i) + E(\varepsilon_{it}) = 0 \\
 \sigma_{u_{it}}^2 &= \sigma_{\alpha_i + \varepsilon_{it}}^2 = \sigma_{\alpha_i}^2 + \sigma_{\varepsilon_{it}}^2 + 2\sigma_{\alpha_i, \varepsilon_{it}} = \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\varepsilon}^2
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

2. La varianza de u_{it} es constante. La covarianza entre α_i y ε_{it} es 0 bajo el supuesto de que α_i es independiente de ε_{it} .

3. Además, u_{it} también es independiente de los valores X_p porque tanto α_i como ε_{it} satisfacen esta condición.

$$Y_{it} = \beta_1 + \sum_{j=2}^k \beta_j X_{jit} + \delta t + u_{it} \quad u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

Individual	Time	u
1	1	$\alpha_1 + \varepsilon_{11}$
1	2	$\alpha_1 + \varepsilon_{12}$
1	3	$\alpha_1 + \varepsilon_{13}$
2	1	$\alpha_2 + \varepsilon_{21}$
2	2	$\alpha_2 + \varepsilon_{22}$
2	3	$\alpha_2 + \varepsilon_{23}$

(41)

Pero existe un problema de autocorrelación debido a que las observaciones para un mismo individuo tienen un componente común α_i que recoge las características no observadas del individuo. Sin embargo, las observaciones de diferentes individuos si son independientes entre sí.

4.13 Tratamiento de las variables en los modelos econométricos

Una vez descrito los modelos econométricos y sus distintas variedades, que son de relevante utilidad para la presente investigación, se describe a continuación cuales fueron las variables utilizadas como dependientes e independientes en los modelos econométricos.

El modelo de regresión lineal es el primero a utilizar, ya que la naturaleza de los datos lo permite. Para el procesamiento de los datos, se utilizó como variables independientes, la precipitación media y temperatura media, teniéndose información mensual de todos los estados de la República desde 1985 hasta el

2017²⁴, según Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a través del Centro Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT). En cuanto a una parte de las variables dependientes, caso del precio frecuente, precio máximo y precio mínimo del maíz blanco por kilogramo, la información se tiene semanalmente para el estado de Michoacán, realizándose un promedio para obtener datos mensuales desde 1998 al 2017²⁵, según información del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

La otra parte de las variables dependientes, se utilizó la superficie cosechada (ha.), la superficie siniestrada (ha.), el valor de la producción (miles de pesos) y el precio medio rural (\$/udm), como parte de la información del maíz en grano de temporal de todos los estados de la república durante el período 1985-2017, datos obtenidos del SIAP (2019)²⁶.

Se realizaron ocho modelos econométricos de regresión lineal, solo para Michoacán. El primero de ellos utilizó como variable dependiente el precio frecuente de maíz blanco en pesos por kilogramo y como variables independientes la precipitación media acumulada mensual en (mm) y temperatura media mensual en grados centígrados. En el segundo modelo se utilizaron las mismas variables del primer modelo, solo que los datos se utilizaron con diferencia de logaritmos. El tercer modelo utilizó como variable dependiente el precio máximo y las mismas variables independientes del primer modelo. En el cuarto modelo se usa el precio mínimo de maíz blanco en pesos por kilogramo como variable dependiente, usando las mismas variables independientes del primer modelo.

El otro tipo de modelo econométrico a utilizar fue el de datos panel, debido a las características de la información recabada. En el caso de las variables independientes (precipitación pluvial media y temperatura media), se tiene información promedio anual desde 1985 hasta el 2017 para todos los estados de la república, según Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a través del Centro

²⁴ Ver anexos 1 y 2.

²⁵ ver anexo 3.

²⁶ Ver anexos del 4 al 32, elaborados con información del SIAP.

Nacional de Previsión del Tiempo (CNPT). Para el caso de las variables independientes (valor de la producción de maíz grano, producción de maíz grano, precio medio rural de maíz grano y superficie siniestrada de maíz grano), se cuenta con información anual por año agrícola (otoño-invierno más primavera-verano) de temporal para todos los estados de la república en el período 1985-2017, según información del anuario estadístico de la producción agrícola proporcionado por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Además, se realizaron seis modelos econométricos de datos panel a nivel nacional y por estado. Los primeros dos de ellos, utilizan como variable dependiente el valor de la producción de maíz en grano y como variables independientes la precipitación media y temperatura media. En el tercer y cuarto modelo se utilizó como variable dependiente la producción de maíz en grano, manteniendo las mismas variables independientes de los primeros modelos. Finalmente, en el cuarto y quinto modelo se utilizó la superficie siniestrada de maíz en grano como variable dependiente, conservando las variables independientes del primer modelo.

4.14 Limitaciones y supuestos del modelo

Los datos utilizados de precipitación y temperatura son referentes al promedio, es decir, no se utilizó información sobre precipitación máxima y mínima, siendo la misma situación en la temperatura. La información referente a precipitación y temperatura se obtuvo de los datos publicados por el Sistema Meteorológico Nacional, disponible mensualmente para cada entidad federativa, excluyendo del análisis la información de las estaciones meteorológicas. Adicionalmente, los datos sobre el maíz se obtuvieron del Sistema de Información Agroalimentaria y de Pesquera (SIAP), y correspondientes al grano de temporal, es decir, considerando todas las variedades de maíz, tomando la producción por entidad federativa referente al año agrícola (Otoño-Invierno más Primavera-Verano).

Se debe mencionar que no se consideró el tipo de tecnología utilizada para la producción de maíz, es decir, los datos utilizados incluyen todos los tipos de

tecnología utilizados (cielo abierto, invernadero, malla sombra, macro túnel y agricultura protegida²⁷). La producción de maíz no se diferencia según el mercado, es decir, si es para exportación o para el mercado nacional. Además, no se contempla el tipo de producción, si es convencional u orgánico, y no se considera la caracterización del productor, es decir, si es grande, mediano, pequeño o producción de traspatio. Considerando las limitaciones, mencionadas anteriormente, sobre los datos utilizados para realizar el análisis, a continuación se presentan los resultados obtenidos según los modelos econométricos implementados.

²⁷ La agricultura protegida es aquella implementa estructuras para proteger cultivos, entre las cuáles se encuentra el invernadero, la malla sombra, el macro túnel y casa sobra.

CAPÍTULO V. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados, derivados del procesamiento de la información. El capítulo se compone de dos partes principalmente. En la primera parte se muestran los resultados obtenidos de los ocho modelos econométricos de regresión lineal que se realizaron exclusivamente para Michoacán. Los primeros cuatro modelos de regresión lineal corresponden a datos mensuales del maíz blanco de temporal en el período 1998-2017. Los últimos cuatro modelos de regresión lineal son referentes a datos anuales del maíz en grano de temporal en el período 1985-2017. En la segunda parte del capítulo se muestran los resultados obtenidos de los seis modelos econométricos de datos panel, utilizando información en datos anuales de maíz en grano de temporal, a nivel nacional y para el caso particular de Michoacán, durante el período 1985-2017.

5.1 Modelos de regresión lineal simple

5.1.1. Modelo de regresión lineal para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal

En el modelo de regresión lineal empleado para el estado de Michoacán, elaborado con datos mensuales para el período 1998-2017²⁸, se intentó demostrar el peso que tiene la precipitación pluvial media mensual (PREMIC) y la temperatura media mensual (TEMMIC), como variables dependientes, sobre el comportamiento del precio mensual frecuente del maíz blanco de temporal (PXFREMIC), como variable dependiente, ver tabla 3.

En el modelo de la tabla 3 se observan los resultados obtenidos, donde el valor de *Durbin Watson* es de 0.047316 no encontrándose entre el rango de 1.5 a 2.5, por lo cual el modelo tiene autocorrelación. En el caso del valor *prob* de la variable

²⁸ Ver anexo 3.

precipitación (PREMIC), su valor se encuentra por arriba de 0.05 siendo estadísticamente no significativa la relación entre la precipitación pluvial y el precio frecuente por kilogramo de maíz, es decir, la precipitación pluvial no influye en el precio por kilogramo de maíz. Además, el valor de R cuadrada (*R-squared* 0.034998) es demasiado bajo, implicando que el modelo tiene un bajo nivel explicativo, no pudiéndose demostrar que, para el caso de Michoacán, la precipitación pluvial media y la temperatura media influyan sobre las oscilaciones del precio frecuente del maíz blanco de temporal.

Tabla 3. Modelo de regresión lineal para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal

Dependent Variable: PXFREMIC				
Method: Least Squares				
Date: 07/31/19 Time: 19:10				
Sample: 1998M01 2017M12				
Included observations: 240				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.227329	0.731228	1.678449	0.0946
TEMMIC	0.110538	0.038386	2.879637	0.0043
PREMIC	-0.000636	0.001173	-0.541937	0.5884
R-squared	0.034998	Mean dependent var	3.348413	
Adjusted R-squared	0.026854	S.D. dependent var	1.374856	
S.E. of regression	1.356270	Akaike info criterion	3.459775	
Sum squared resid	435.9539	Schwarz criterion	3.503283	
Log likelihood	-412.1729	Hannan-Quinn criter.	3.477305	
F-statistic	4.297623	Durbin-Watson stat	0.047316	
Prob(F-statistic)	0.014676			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SNIIM y SMN.

5.1.2. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal

Debido a la situación anterior, se construyó el modelo con diferencia de logaritmos (ver tabla 4), para analizar los incrementos porcentuales en las variables. Pese a ello, el modelo no mejoró, el valor *prob* de precipitación [D(LOG(PREMIC))] 0.4958 y el valor *prob* de temperatura [D(LOG(TEMMIC))] 0.4195, son ambos superiores a 0.05 que es el margen de error aceptable estadísticamente. Adicionalmente el valor de R cuadrada (*R-squared* 0.004227) continúa siendo demasiado bajo,

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

teniendo un mínimo nivel explicativo. Por lo tanto, el modelo no es viable para afirmar que la precipitación pluvial media y la temperatura media determinan en parte el precio frecuente por kilogramo de maíz blanco de temporal.

Tabla 4. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal

Dependent Variable: D(LOG{PXFREMIC}) Method: Least Squares Date: 07/31/19 Time: 20:22 Sample (adjusted): 1998M02 2017M12 Included observations: 239 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.005029	0.004169	1.206440	0.2289
D(LOG(TEMMIC))	0.034019	0.049871	0.682145	0.4958
D(LOG(PREMIC))	-0.001766	0.002184	-0.808719	0.4195
R-squared	0.004227	Mean dependent var		0.005038
Adjusted R-squared	-0.004212	S.D. dependent var		0.064311
S.E. of regression	0.064446	Akaike info criterion		-2.633505
Sum squared resid	0.980176	Schwarz criterion		-2.589867
Log likelihood	317.7038	Hannan-Quinn criter.		-2.615920
F-statistic	0.500871	Durbin-Watson stat		2.175957
Prob(F-statistic)	0.606645			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SNIIM y SMN.

5.1.3. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos y un rezago para Michoacán, caso del precio máximo mensual de maíz blanco de temporal

Se elaboró otro modelo de regresión simple con diferencia de logaritmos con un rezago para el estado de Michoacán, en el mismo período 1998-2017²⁹, utilizando ahora el precio máximo mensual por kilogramo de maíz blanco de temporal [D(LOG(PXMAXMIC),1)] y como variables independientes, la precipitación promedio mensual [D(LOG(PREMIC),1)] y la temperatura promedio mensual [D(LOG(TEMMIC),1)] ver tabla 5.

En el modelo se observa que los valores *prob* de temperatura promedio mensual y precipitación promedio mensual (0.4254 y 0.4485) son superiores al 0.05 de error permitido estadísticamente, por tanto, los coeficientes de las variables

²⁹ Para este modelo se utilizó la información presentada en el anexo 3.

independientes (temperatura y precipitación) no son confiables para explicar el comportamiento de las variaciones del precio máximo por kilogramo de maíz blanco de temporal registrado para Michoacán durante el período 1998-2017. Además, el valor de R cuadrada (*R-squared* 0.004574) continúa siendo demasiado bajo. Por tanto, se determina que este modelo no es de utilidad para medir las relaciones que tiene la precipitación media y temperatura media sobre el precio máximo por kilogramo de maíz blanco en Michoacán (ver tabla 5).

Tabla 5. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos y un rezago para Michoacán, caso del precio máximo mensual de maíz blanco de temporal

Dependent Variable: D(LOG(PXMAXMIC),1)				
Method: Least Squares				
Date: 05/17/19 Time: 09:53				
Sample (adjusted): 1998M02 2017M12				
Included observations: 239 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.005027	0.004225	1.189693	0.2354
D(LOG(TEMMIC),1)	0.040358	0.050550	0.798386	0.4254
D(LOG(PREMIC),1)	-0.001680	0.002213	-0.759227	0.4485
R-squared	0.004574	Mean dependent var	0.005038	
Adjusted R-squared	-0.003862	S.D. dependent var	0.065198	
S.E. of regression	0.065324	Akaike info criterion	-2.606441	
Sum squared resid	1.007066	Schwarz criterion	-2.562803	
Log likelihood	314.4696	Hannan-Quinn criter.	-2.588856	
F-statistic	0.542195	Durbin-Watson stat	2.228912	
Prob(F-statistic)	0.582193			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SNIIM y SMN.

5.1.4. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio mínimo mensual de maíz blanco de temporal

Se construyó otro modelo de regresión lineal con un rezago para Michoacán³⁰, comprendiendo el período 1998-2017, utilizando el precio mínimo de maíz blanco de temporal [D(LOG(PXMAXMIC),1)] y la precipitación promedio mensual [D(LOG(PREMIC),1)] y la temperatura promedio mensual [D(LOG(TEMMIC),1)], ver tabla 6. Sin embargo, los valores *prob* de la precipitación y temperatura

³⁰ Para este modelo se utilizó la información presentada en el anexo 3.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

(0.04190 y 0.2965) son superiores al valor 0.05, sobrepasando el margen de error estadísticamente permitido. Además, el valor de R cuadrada (0.006606) es muy bajo, careciendo el modelo de valor explicativo.

Tabla 6. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio mínimo mensual de maíz blanco de temporal

Dependent Variable: D(LOG(PXMINMIC),1)				
Method: Least Squares				
Date: 05/17/19 Time: 09:54				
Sample (adjusted): 1998M02 2017M12				
Included observations: 239 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.004831	0.004110	1.175270	0.2411
D(LOG(TEMMIC),1)	0.051438	0.049173	1.046049	0.2966
D(LOG(PREMIC),1)	-0.001743	0.002153	-0.809537	0.4190
R-squared	0.006606	Mean dependent var	0.004845	
Adjusted R-squared	-0.001812	S.D. dependent var	0.063487	
S.E. of regression	0.063545	Akaike info criterion	-2.661673	
Sum squared resid	0.952952	Schwarz criterion	-2.618035	
Log likelihood	321.0699	Hannan-Quinn criter.	-2.644088	
F-statistic	0.784747	Durbin-Watson stat	2.375757	
Prob(F-statistic)	0.457422			

Fuente: elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SNIIM y SMN.

5.1.5. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie cosechada de maíz en grano de temporal

Dado que para el período 1998-2017, no se demostró la relación estadística mensual que existe entre la precipitación pluvial media y la temperatura media sobre el comportamiento del precio frecuente, precio máximo y precio mínimo por kilogramo de maíz blanco de temporal a la venta de mayoreo en costales de 50kg. Se analiza el maíz en grano de temporal, utilizando para ello, información como la superficie cosechada, la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal, el valor de la producción de maíz en grano de temporal y el precio medio rural de maíz en grano. Estos datos comprenden al maíz en grano de temporal para el estado de Michoacán por año agrícola para el período de 1985 al 2017.

Adicionalmente, se conservó la precipitación pluvial media y temperatura media, pero tomando en cuenta los datos anuales para el período 1985-2017³¹.

De manera que, se elaboró un modelo de regresión lineal para el caso de Michoacán (ver tabla 7), para determinar si existe una correlación entre las variables independientes (precipitación pluvial media y temperatura media) y la variable dependiente (superficie cosechada).

Tabla 7. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie cosechada de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: D(LOG(SUPCOSE),1) Method: Least Squares Date: 03/01/19 Time: 02:52 Sample (adjusted): 1986 2017 Included observations: 32 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.006081	0.024854	-0.244670	0.8084
D(LOG(TEMP),1)	-0.146413	0.193222	-0.757742	0.4547
D(LOG(PREC),1)	0.073420	0.102653	0.715222	0.4802
R-squared	0.061179	Mean dependent var	-0.006201	
Adjusted R-squared	-0.003568	S.D. dependent var	0.140334	
S.E. of regression	0.140584	Akaike info criterion	-0.996958	
Sum squared resid	0.573155	Schwarz criterion	-0.859546	
Log likelihood	18.95134	Hannan-Quinn criter.	-0.951410	
F-statistic	0.944896	Durbin-Watson stat	2.883373	
Prob(F-statistic)	0.400363			

Fuente: elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SIAP y SMN.

En el modelo se observó que el valor *prob* de la temperatura media [D(LOG(TEMP),1)] 0.4547 y de la precipitación media [D(LOG(PREC),1)] 0.4842 son superiores a 0.05 como valor máximo de error estadístico permitido, siendo los parámetros (*Coefficient*) de temperatura y precipitación no viables para establecer una correlación con la superficie cosechada de maíz en grano de temporal. Además, el modelo tiene un bajo nivel explicativo ya que su R cuadrada (*R-squared*) muy baja 0.061179.

³¹ Ver anexos 1, 2 y 4.

5.1.6. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal

Se elaboró otro modelo de regresión lineal con un rezago para el período 1985-2017 en el estado Michoacán³². Se consideró como variable dependiente la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal [D(SUPSIN),1] y como variables independientes la precipitación pluvial media [D(LOG(PREMIC),1)] y temperatura media [D(LOG(TEMMIC),1)] registrada en Michoacán. En el modelo se observó que los valores *prob*, tanto de precipitación (0.1639) y temperatura (0.9212), son superiores a 0.05 que es el máximo de error estadístico aceptable, por lo que los estimadores (*coeficient*) de las variables independientes no influyen sobre el comportamiento de la variable dependiente (ver tabla 8). Además, el valor de R cuadrada (*R-squared*) es muy bajo (0.075114), es decir, que el modelo tiene un pobre nivel explicativo sobre el comportamiento que tienen las variables independientes en la variable dependiente.

Tabla 8. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: D(LOG(SUPSIN),1) Method: Least Squares Date: 03/01/19 Time: 02:51 Sample (adjusted): 1986 2017 Included observations: 32 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.005273	0.193972	0.027182	0.9785
D(LOG(TEMP),1)	-0.150516	1.507986	-0.099812	0.9212
D(LOG(PREC),1)	-1.144179	0.801146	-1.428178	0.1639
R-squared	0.075114	Mean dependent var		0.003803
Adjusted R-squared	0.011329	S.D. dependent var		1.103445
S.E. of regression	1.097177	Akaike info criterion		3.112418
Sum squared resid	34.91013	Schwarz criterion		3.249831
Log likelihood	-46.79869	Hannan-Quinn criter.		3.157967
F-statistic	1.177612	Durbin-Watson stat		3.116030
Prob(F-statistic)	0.322313			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SIAP y SMN.

³² Para este modelo se utilizó la información presentada en los anexos 1, 2 y 4.

5.1.7. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal

Se elabora otro modelo³³, como el anterior, pero ahora se consideró al valor de la producción de maíz en grano de temporal para Michoacán [D(VPROD),1)], como variable dependiente, y utilizando la precipitación pluvial media [D(LOG(PREMIC),1)] y temperatura media [D(LOG(TEMMIC),1)], como variables independientes (ver tabla 9).

Tabla 9. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: D(LOG(SUPSIN),1)				
Method: Least Squares				
Date: 03/01/19 Time: 02:51				
Sample (adjusted): 1986 2017				
Included observations: 32 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.005273	0.193972	0.027182	0.9785
D(LOG(TEMP),1)	-0.150516	1.507986	-0.099812	0.9212
D(LOG(PREC),1)	-1.144179	0.801146	-1.428178	0.1639
R-squared	0.075114	Mean dependent var		0.003803
Adjusted R-squared	0.011329	S.D. dependent var		1.103445
S.E. of regression	1.097177	Akaike info criterion		3.112418
Sum squared resid	34.91013	Schwarz criterion		3.249831
Log likelihood	-46.79869	Hannan-Quinn criter.		3.157967
F-statistic	1.177612	Durbin-Watson stat		3.116030
Prob(F-statistic)	0.322313			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, obtenidos del SIAP y SMN.

En el modelo (ver tabla 9) se observó que los valores *prob*, tanto de precipitación (0.1639) como de temperatura (0.9212), son superiores a 0.05 como valor máximo de error estadístico aceptable, por lo que los estimadores (*coeficient*) de precipitación y temperatura no viables para determinar el comportamiento de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal en Michoacán. Además, se

³³ Para este modelo se utilizó la información presentada en los anexos 1, 2 y 4.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

mantiene un bajo nivel explicativo del modelo al tener una R cuadrada (*R-squared*) muy baja (0.075114).

5.1.8. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio medio rural de maíz en grano de temporal

Se elabora otro modelo de regresión lineal con un rezago para Michoacán durante el período 1985-2017³⁴ (ver tabla 10). Se utilizó como variable dependiente el precio medio rural de maíz en grano de temporal [D(PMR),1], y la precipitación pluvial media [D(LOG(PREMIC),1)] y temperatura media [D(LOG(TEMMIC),1)], como variables independientes.

Tabla 10. Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio medio rural de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: D(LOG(PMR),1) Method: Least Squares Date: 03/01/19 Time: 02:53 Sample (adjusted): 1986 2017 Included observations: 32 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.130662	0.047665	2.741273	0.0104
D(LOG(TEMP),1)	-0.006217	0.370557	-0.016778	0.9867
D(LOG(PREC),1)	0.204507	0.196866	1.038815	0.3075
R-squared	0.044057	Mean dependent var		0.130879
Adjusted R-squared	-0.021870	S.D. dependent var		0.266709
S.E. of regression	0.269609	Akaike info criterion		0.305374
Sum squared resid	2.107986	Schwarz criterion		0.442787
Log likelihood	-1.885989	Hannan-Quinn criter.		0.350923
F-statistic	0.668275	Durbin-Watson stat		1.497409
Prob(F-statistic)	0.520309			

Fuente: elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

Se observa que los valores *prob*, tanto de precipitación (0.3075) como de temperatura (0.9867), sobrepasan el valor de 0.05 que es el error estadístico aceptable. Aunado a lo anterior, la R cuadrada (*R-squared*) es demasiado baja (0.044057), careciendo el modelo de un buen nivel explicativo. De manera que,

³⁴ Para este modelo se utilizó la información presentada en los anexos 1, 2 y 4.

para el caso de Michoacán el modelo no es útil para determinar que la precipitación pluvia y la temperatura influyen en el precio medio rural de maíz en grano de temporal.

En la tabla 11 se presenta la información sintetizada sobre los principales resultados, producto de los distintos modelos econométricos de regresión lineal que se elaboraron.

Tabla 11. Resumen de los modelos de regresión lineal			
Modelo de regresión lineal para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.0043 0.5884	R^2 0.0349 9
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos para Michoacán, caso del precio frecuente mensual de maíz blanco de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.4958 0.4195	R^2 0.0042 2
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos y un rezago para Michoacán, caso del precio máximo mensual de maíz blanco de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.4254 0.4485	R^2 0. 00457
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio mínimo mensual de maíz blanco de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.2966 0.4190	R^2 0.0066 0
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie cosechada de maíz en grano de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.4547 0.4802	R^2 0.0611 7
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.9212 0.1639	R^2 0.0751 1
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.9212 0.1639	R^2 0.0751 1
Modelo de regresión lineal con diferencia de logaritmos con un rezago para Michoacán, caso del precio medio rural de maíz en grano de temporal	Variable: Temperatura Precipitación	Valor Prob: 0.9857 0.3075	R^2 0.0440 5
Fuente: elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.			

5.2 Modelos de datos panel

En los modelos econométricos de regresión lineal no se obtuvo una relación, estadísticamente confiable, donde influyese la precipitación pluvial media y temperatura media sobre el precio frecuente, precio mínimo y precio máximo del maíz blanco de temporal para el caso particular de Michoacán durante el período 1985-2017, con datos mensuales. También se utilizaron datos anuales del maíz en grano de temporal en Michoacán durante el período 1985-2017. Entre los datos utilizados fue la superficie siniestrada, la producción, el valor de la producción y el precio medio rural. Estos datos fueron relacionados individualmente con la precipitación pluvial media y la temperatura media, no obteniendo alguna relación, estadísticamente significativa.

Ante la situación particular del maíz, se utilizaron modelos econométricos de datos panel, para el período 1985-2017. Este modelo caracterizado por la utilización de información transversal, utilizó de manera individual, el precio medio rural de maíz en grano de temporal, la superficie siniestrada, la producción y el valor de la producción de maíz en grano de temporal³⁵. Adicionalmente se utilizó la precipitación pluvial media anual y la temperatura media anual³⁶. La información anterior, fue recabada de la mayor parte de las entidades federativas, a excepción de Baja California Sur, que no cuenta con información de maíz en grano de temporal.

5.2.1. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal

Se elaboró un modelo de datos panel, con un vector autoregresivo [AR(1)], a nivel nacional con datos anuales comprendiendo el período 1985-2017 (ver tabla 11). Se utilizó el valor de la producción de maíz en grano de temporal (VPROD?), como variable dependiente, y la precipitación pluvial media (PRE?) y temperatura media (TEM?), como variables independientes.

³⁵ Ver anexos del 4 al 34.

³⁶ Ver anexos 1 y 2.

Tabla 12. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: VPROD?				
Method: Pooled Least Squares				
Date: 03/14/19 Time: 14:26				
Sample (adjusted): 1986 2017				
Included observations: 32 after adjustments				
Cross-sections included: 31				
Total pool (balanced) observations: 992				
Convergence achieved after 5 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-970179.5	577548.5	-1.679823	0.0933
TEM?	-4813.754	5678.434	-0.847726	0.3968
PRE?	129.9204	43.80202	2.966083	0.0031
AR(1)	1.031968	0.008424	122.5104	0.0000
R-squared	0.939379	Mean dependent var		758564.5
Adjusted R-squared	0.939195	S.D. dependent var		1473836.
S.E. of regression	363429.7	Akaike info criterion		28.44858
Sum squared resid	1.30E+14	Schwarz criterion		28.46834
Log likelihood	-14106.50	Hannan-Quinn criter.		28.45610
F-statistic	5103.295	Durbin-Watson stat		2.606234
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

En el modelo de la tabla 12, se observó que el valor *prob* de la precipitación pluvial media (0.0031) es menor que el valor 0.05 como margen de error estadístico, es decir, que el parámetro (*coefficient*) de la precipitación pluvial media sí es viable para determinar el comportamiento en el valor de la producción de maíz en grano de temporal. Sin embargo, el valor *prob* de la temperatura media (TEM?) y la constante (c) es superior al valor 0.05, por lo tanto, estos estimadores no son viables para medir el grado de influencia que tienen sobre el valor de la producción de maíz en grano de temporal. En cuanto al valor de R cuadrada (*R-squared*) de 0.939379 se considera, con una buena capacidad de explicación el modelo, ver tabla 12.

En este modelo (ver tabla 12), se encuentra que, a nivel nacional, las variaciones en la precipitación pluvial media sí tienen una influencia en el valor de la producción de maíz en grano de temporal durante el período 1985-2017. Sin

embargo, el modelo es incapaz de demostrar estadísticamente que la temperatura media influye en el valor de la producción de maíz en grano de temporal, pese a lo que normalmente se menciona en la literatura (Schlenker y Roberts, 2009; Lobell y Burke, 2010; Granados y Sarabia, 2013).

5.2.2 Modelo de datos panel por estado, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal

a) Nacional

También se construyó un modelo de datos panel, para todos los estados productores de maíz en grano de temporal, comprendiendo el período 1985-2017 (ver tabla 13). En este modelo se utiliza como variable dependiente el valor de la producción de maíz en grano para cada estado productor (VPROD?), y como variables independientes la precipitación pluvial media (PRE) y la temperatura media de cada estado (TEM).

En el modelo de la tabla 12, se observó que el valor *prob* de la constante (C) 0.000, es inferior a 0.05, margen de error estadísticamente aceptable, por lo que el parámetro (*coefficient*) de la constante es válido para explicar el comportamiento del valor de la producción de maíz en grano de temporal.

Además, el valor *prob* de la temperatura media es menor al 0.05³⁷ en los estados de Baja California Norte (BCN), Chihuahua (CHH), Coahuila (COA), Chiapas (CHP), Ciudad de México (CMX), Colima (COL), Durango (DUR), Guanajuato (GUA), Jalisco (JAL), Hidalgo (HID), Estado de México (MEX), Michoacán (MIC), Morelos (MOR), Nuevo León (NLE), Oaxaca (OAX), Puebla (PUE), Querétaro (QUE), San Luis Potosí (SLP), Sinaloa (SIN), Sonora (SON), Tamaulipas (TAM) y Tlaxcala (TLA). Es decir que, para los 22 estados, mencionados anteriormente, las variaciones en la temperatura media, registrada en cada uno, sí influyen en el valor de la producción de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa (ver mapa 1).

³⁷ Valor máximo de error estadístico aceptable.

Mapa 1. Estados en los cuales la temperatura incide en el valor de la producción de maíz en grano de temporal



Fuente: Elaboración propia

Al analizar la precipitación pluvial media (ver tabla 13), se observó que el valor *prob* es menor a 0.05 en los estados de Chiapas (CHP), Guerrero (GRO), Jalisco (JAL), Michoacán (MIC) y Veracruz (VER). Esto quiere decir que, las variaciones en la precipitación pluvial media de cada estado sí influye en el comportamiento del valor de la producción de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa. En cuanto al valor de R cuadrada (*R-squared*), que es de 0.600384, implica que el modelo tiene un nivel explicativo aceptable del 60% aproximadamente (ver mapa 2).

Los hallazgos principales de este modelo (ver tabla 13) es que para el caso de Sinaloa, Jalisco y Estado de México (primer, segundo y tercer estado productor de maíz), las variaciones de precipitación pluvial sí influyen en el valor de la producción de maíz que tienen, pero los cambios en la temperatura media no influyen en el valor de la producción de maíz.

Tabla 13. Modelo de datos panel por estado, caso del valor de la producción de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: VPROD? Method: Pooled Least Squares Date: 03/14/19 Time: 14:28 Sample: 1985 2017 Included observations: 33 Cross-sections included: 31 Total pool (balanced) observations: 1023				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1985208.	405375.4	-4.897208	0.0000
AGU--TEMAGU	101980.3	41333.47	2.467257	0.0138
BCN--TEMBCN	94375.52	28212.40	3.345179	0.0009
CAM--TEMCAM	92648.16	36998.79	2.504018	0.0124
CHP--TEMCHP	103920.9	35557.19	2.922642	0.0036
CHH--TEMCHH	93564.16	40171.38	2.329125	0.0201
CMX--TEMCMX	103664.2	46777.07	2.216133	0.0269
COA--TEMCOA	96862.51	26560.18	3.646908	0.0003
COL--TEMCOL	77288.57	24145.49	3.200953	0.0014
DUR--TEMDUR	107339.2	38422.99	2.793619	0.0053
GUA--TEMGUA	114461.6	38461.67	2.975990	0.0030
GRO--TEMGRO	48672.49	41475.32	1.173529	0.2409
HID--TEMHID	139459.9	57318.28	2.433079	0.0152
JAL--TEMJAL	207993.5	38099.96	5.459154	0.0000
MEX--TEMEX	221947.6	61961.51	3.582024	0.0004
MIC--TEMMIC	89744.36	40590.61	2.210964	0.0273
MOR--TEMMOR	92989.57	31395.14	2.961910	0.0031
NAY--TEMNAY	74658.06	38517.90	1.938269	0.0529
NLE--TEMNLE	77046.86	31299.93	2.461566	0.0140
OAX--TEMOAX	148844.0	33099.95	4.496806	0.0000
PUE--TEMPUE	173349.9	46812.46	3.703073	0.0002
QUE--TEMQUE	95637.56	39556.28	2.417759	0.0158
ROO--TEMROO	54718.86	39156.03	1.652845	0.0987
SLP--TEMSLP	88440.98	36226.04	2.441365	0.0148
SIN--TEMSIN	75892.84	33699.21	2.252066	0.0245
SON--TEMSON	77363.20	32825.88	2.356774	0.0186
TAB--TEMTAB	73773.32	42248.02	1.746196	0.0811
TAM--TEMTAM	79063.67	36662.57	2.156523	0.0313
TLA--TEMTLA	132921.4	65938.91	2.015826	0.0441
VER--TEMVER	60159.93	53944.78	1.115213	0.2650
YUC--TEMYUC	72803.81	38352.80	1.898266	0.0580
ZAC--TEMZAC	100504.4	51786.22	1.940755	0.0526
AGU--PREAGU	461.4985	1175.860	0.392478	0.6948
BCN--PREBCN	862.7314	1903.874	0.453145	0.6505
CAM--PRECAM	39.23817	671.8140	0.058406	0.9534
CHP--PRECHP	1083.025	394.4119	2.745924	0.0061
CHH--PRECHH	1115.652	1337.804	0.833943	0.4045
CMX--PRECMX	390.4162	869.1073	0.449215	0.6534
COA--PRECOA	43.90228	740.0420	0.059324	0.9527
COL--PRECOL	77.39746	430.7600	0.179677	0.8574
DUR--PRETUR	678.0243	1187.472	0.570981	0.5681
GUA--PREGUA	728.3273	865.6766	0.841339	0.4004
GRO--PREGRO	2730.893	904.2218	3.020158	0.0026
HID--PREHID	156.0625	1278.400	0.122076	0.9029
JAL--PREJAL	3245.678	829.6591	3.912063	0.0001
MEX--PREMEX	1864.398	1108.151	1.682439	0.0928
MIC--PREMIC	2393.660	906.2179	2.641374	0.0084
MOR--PREMOR	135.1596	487.8636	0.277044	0.7818
NAY--PRENAY	329.3423	746.4129	0.441233	0.6591
NLE--PRENLE	727.2718	835.8840	0.870063	0.3845
OAX--PREOAX	-87.15150	482.2243	-0.180728	0.8566
PUE--PREPUE	250.7229	528.2571	0.474623	0.6352
QUE--PREQUE	634.8249	1033.008	0.614540	0.5390
ROO--PREROO	277.5211	705.2859	0.393487	0.6940
SLP--PRESLP	319.1319	781.5345	0.408340	0.6831
SIN--PRESIN	262.0271	1047.362	0.250178	0.8025
SON--PRESON	652.8353	1486.956	0.439041	0.6607
TAB--PRETAB	118.9464	462.8035	0.257013	0.7972
TAM--PRETAM	341.0074	969.6950	0.351665	0.7252
TLA--PRETLA	631.3930	1191.080	0.530101	0.5962
VER--PREVER	1741.730	737.2851	2.362356	0.0184
YUC--PREYUC	242.8718	900.8155	0.269613	0.7875
ZAC--PREZAC	1190.774	1553.527	0.766497	0.4436
R-squared	0.600384	Mean dependent var	736142.1	
Adjusted R-squared	0.574575	S.D. dependent var	1456856.	
S.E. of regression	950229.0	Akaike info criterion	30.42640	
Sum squared resid	8.67E+14	Schwarz criterion	30.73004	
Log likelihood	-15500.10	Hannan-Quinn criter.	30.54168	
F-statistic	23.26296	Durbin-Watson stat	0.252852	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

Considerando los resultados del modelo de datos panel, se determina que para Michoacán las variaciones en la precipitación pluvial media y la temperatura media sí determinan el valor de la producción de maíz en grano de temporal (ver tabla

13). En el caso de la precipitación pluvial media, se tiene una relación directa con el valor de la producción de maíz en grano de temporal, sí incrementa en Michoacán la precipitación pluvial, incrementará el valor de la producción de maíz en grano de temporal. Es decir, las variaciones del cambio climático afectan el valor de la producción de maíz en grano de temporal.

5.2.3. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal

Se elaboró otro modelo de datos panel con un vector autoregresivo [AR(1)], a nivel nacional con datos anuales comprendiendo el período 1985-2017 (ver tabla 14). Se utilizó la producción en toneladas de maíz en grano de temporal (PROD?), como variable dependiente, y la precipitación pluvial media (PRE?) y temperatura media (TEM?), como variables independientes.

Tabla 14. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: PROD? Method: Pooled Least Squares Date: 03/14/19 Time: 14:16 Sample (adjusted): 1986 2017 Included observations: 32 after adjustments Cross-sections included: 31 Total pool (balanced) observations: 992 Convergence achieved after 5 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	461907.7	253853.3	1.819585	0.0691
TEM?	-810.7935	2382.406	-0.340326	0.7337
PRE?	104.3718	18.36622	5.682811	0.0000
AR(1)	0.980054	0.008402	116.6460	0.0000
R-squared	0.934983	Mean dependent var		378966.0
Adjusted R-squared	0.934785	S.D. dependent var		581183.8
S.E. of regression	148417.7	Akaike info criterion		26.65747
Sum squared resid	2.18E+13	Schwarz criterion		26.67723
Log likelihood	-13218.11	Hannan-Quinn criter.		26.66498
F-statistic	4736.000	Durbin-Watson stat		2.806222
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

Para el caso mexicano, se observó que únicamente la precipitación pluvial media influye en el comportamiento de la producción de maíz en grano de temporal

durante el período 1985-2017. Esto debido a que el valor *prob* de la precipitación (PRE?) es menor a 0.05 que es el error máximo estadísticamente aceptable, no influyendo la temperatura media del país en la producción nacional de maíz en grano de temporal. Adicionalmente, el modelo tiene un excelente nivel explicativo del 93.4% aproximadamente, debido a que el valor de R cuadrada (*R-squared*) es de 0.934983.

5.2.4. Modelo de datos panel por estado, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal

a) Nacional

También se construyó un modelo de datos panel con vector autoregresivo [AR(1)], para todos los estados productores de maíz en grano de temporal durante el período 1985-2017 (ver tabla 15). En este modelo se utiliza como variable dependiente la producción en toneladas de maíz en grano para cada estado productor (PROD?), y como variables independientes la precipitación pluvial media (PRE) y la temperatura media de cada estado (TEM).

En este modelo (ver tabla 15) se observó que el valor *prob* de la constante (C) 0.0011, es inferior a 0.05, margen de error estadísticamente aceptable, por lo que el parámetro (*coefficient*) de la constante es válido para explicar el comportamiento de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal.

Al analizar el valor *prob* de la temperatura media (ver tabla 15), se observó que es menor al 0.05³⁸ en los estados de Baja California Norte (BCN), Chiapas (CHP), Coahuila (COA), Jalisco (JAL), Michoacán (MIC), Oaxaca (OAX), Puebla (PUE), y Veracruz (VER). Se interpreta que, para los ocho estados, las variaciones en la temperatura media, registrada en cada uno, sí influyen en la producción de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa (ver mapa 3).

³⁸ Valor máximo de error estadístico aceptable.

Considerando ahora la precipitación pluvial media (ver tabla 15), se observó que el valor *prob* es menor a 0.05 en los estados de Chiapas (CHP), Guanajuato (GUA), Guerrero (GRO), Jalisco (JAL), Estado de México (MEX), Michoacán (MIC) y Puebla (PUE). Esto quiere decir que, las variaciones en la precipitación pluvial media de cada estado sí influye en el comportamiento de la producción de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa. En cuanto al valor de R cuadrada (*R-squared*), que es de 0.953916, implica que el modelo tiene un nivel explicativo aceptable del 95% aproximadamente (ver mapa 4).

Mapa 3. Estados en los cuales la temperatura incide en la producción de maíz en grano de temporal



Fuente: Elaboración propia

Entre los hallazgos principales de este modelo (ver tabla 15), se encuentra que, para el caso de Jalisco, segundo productor de maíz, las variaciones de precipitación pluvial sí influyen en la producción de maíz que tienen, así como los cambios en la temperatura media también influyen en la producción de maíz. Por lo tanto, las variaciones en el clima sí determina en parte la producción de maíz en grano de temporal.

b) Michoacán

Para el caso particular de Michoacán, cuarto productor de maíz, se verifica que la variable precipitación pluvial media tiene un valor *prob* menor a 0.05, es decir, se

tiene un nivel de confianza estadísticamente del 95% que la precipitación pluvial media sí determina el comportamiento de la variable producción en toneladas de maíz en grano de temporal (ver tabla 15).

En el caso de la temperatura, se verifica que dicha variable independiente tiene un valor *prob* menor a 0.05, entendiéndose que se tiene un nivel de confianza del 95% que la variable temperatura sí determina el comportamiento de la variable producción en toneladas de maíz en grano de temporal. Además el modelo de datos panel tiene una R cuadrada (*R-squared*) de 0.953916, es decir, el modelo tiene un nivel explicativo del 95%, lo cual es muy deseable (ver tabla 15).

Mapa 4. Estados en los cuales la precipitación incide en la producción de maíz en grano de temporal



Fuente: Elaboración propia

Considerando los resultados del modelo de datos panel, se determina que para Michoacán las variaciones en la precipitación pluvial media y la temperatura media sí determinan la producción en toneladas de maíz en grano de temporal (ver tabla 15). En el caso de la precipitación pluvial media, se tiene una relación directa con el valor de la producción de maíz en grano de temporal, sí incrementa en Michoacán la precipitación pluvial, incrementará la producción en de maíz en grano de temporal. Es decir, las variaciones del cambio climático afectan la producción en toneladas de maíz en grano de temporal.

Tabla 15. Modelo de datos panel por estado, caso de la producción en toneladas de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: PROD7 Method: Pooled Least Squares Date: 03/14/19 Time: 14:20 Sample (adjusted): 1986 2017 Included observations: 32 after adjustments Cross-sections included: 31 Total pool (balanced) observations: 992 Convergence achieved after 8 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	180194.7	55178.47	3.265671	0.0011
AGU--TEMAGU	-9074.895	6130.049	-1.480395	0.1391
BCN--TEMBCN	-8440.471	4100.753	-2.058273	0.0398
CAM--TEMCAM	2832.447	4971.746	0.569709	0.5690
CHP--TEMCHP	28943.51	4862.668	5.952187	0.0000
CHH--TEMCHH	-10058.86	5604.078	-1.794918	0.0730
CMX--TEMCMX	-9547.214	6693.738	-1.426290	0.1541
COA--TEMCOA	-8015.509	3952.709	-2.027852	0.0429
COL--TEMCOL	-5279.387	3662.786	-1.441358	0.1498
DUR--TEM DUR	-7793.747	5448.647	-1.430400	0.1529
GUA--TEMGUA	-3851.677	5560.546	-0.692680	0.4887
GRO--TEMGRO	10329.47	5441.237	1.898368	0.0580
HID--TEMHID	7135.836	9140.268	0.780703	0.4352
JAL--TEMJAL	62048.75	5502.981	11.27548	0.0000
MEX--TEM MEX	16999.83	9579.004	1.756362	0.0794
MIC--TEM MIC	12686.13	5504.819	2.304549	0.0214
MOR--TEM MOR	-5681.263	5254.235	-1.119338	0.2633
NAY--TEMNAY	643.3617	4968.480	0.129489	0.8970
NLE--TEMNLE	-7155.195	4404.504	-1.624518	0.1046
OAX--TEM OAX	10205.15	4650.582	2.194382	0.0285
PUE--TEM PUE	14175.86	6950.143	2.039649	0.0417
QUE--TEM QUE	-8665.473	5832.171	-1.485806	0.1377
ROO--TEM ROO	-5846.104	5038.829	-1.160211	0.2463
SLP--TEMSLP	-3734.138	4973.728	-0.750772	0.4530
SIN--TEMSIN	-5218.535	4817.044	-1.083348	0.2789
SON--TEM SON	-6667.773	4634.207	-1.438816	0.1505
TAB--TEM TAB	-1492.293	5146.833	-0.289944	0.7719
TAM--TEM TAM	-4321.423	4815.454	-0.897407	0.3697
TLA--TEM TLA	-2407.779	10328.72	-0.233115	0.8157
VER--TEM VER	30761.67	7856.005	3.915689	0.0001
YUC--TEM YUC	-3630.007	5673.885	-0.639775	0.5225
ZAC--TEM ZAC	-11676.69	7228.011	-1.615478	0.1066
AGU--PREAGU	2.167024	189.5358	0.012858	0.9897
BCN--PREBCN	-58.88555	217.0128	-0.271720	0.7868
CAM--PRECAM	-10.08848	83.10275	-0.121374	0.9034
CHP--PRECHP	266.1867	51.54019	5.144837	0.0000
CHH--PRECHH	252.4225	180.2070	1.400741	0.1818
CMX--PRECMX	-5.207068	111.6715	-0.046828	0.9628
COA--PRECOA	8.824012	88.05301	0.077498	0.9382
COL--PRECOL	-4.302504	58.32254	-0.073771	0.9412
DUR--PRE DUR	140.8835	151.7187	0.871036	0.3840
GUA--PREGUA	351.7517	115.2878	3.028517	0.0020
GRO--PREGRO	527.1740	115.3855	4.568757	0.0000
HID--PREHID	-118.6401	207.8379	-0.571380	0.5878
JAL--PREJAL	1313.088	114.4423	11.47362	0.0000
MEX--PREMEX	1285.451	178.1091	7.239174	0.0000
MIC--PREMIC	558.4457	117.9104	4.719227	0.0000
MOR--PREMOR	15.15715	80.82324	0.225148	0.8219
NAY--PRENAY	32.31510	90.51757	0.356810	0.7215
NLE--PRENLE	-2.418241	101.5822	-0.023815	0.9810
OAX--PREOAX	94.51125	53.34275	1.492051	0.1350
PUE--PREPUE	201.4714	78.45105	2.558110	0.0104
QUE--PREQUE	105.8841	148.5843	0.722411	0.4702
ROO--PRE ROO	7.348211	95.47781	0.086878	0.9315
SLP--PRESLP	3.898914	104.8897	0.037236	0.9703
SIN--PRE SIN	1.874081	144.4684	0.011588	0.9908
SON--PRESON	-58.71958	154.7487	-0.381518	0.7631
TAB--PRETAB	-7.618938	53.15583	-0.143324	0.8881
TAM--PRETAM	31.30013	118.4854	0.264137	0.7817
TLA--PRETLA	105.3557	193.2758	0.548553	0.5855
VER--PREVER	85.22574	105.8305	0.814752	0.4154
YUC--PREYUC	11.14151	130.6152	0.085100	0.9320
ZAC--PREZAC	408.8889	207.4368	1.981588	0.0601
AR(1)	0.541488	0.028420	19.05203	0.0000
R-squared	0.053018	Mean dependent var	378988.0	
Adjusted R-squared	0.050788	S.D. dependent var	581183.8	
S.E. of regression	128928.8	Akaike info criterion	25.43425	
Sum squared resid	1.54E+13	Schwarz criterion	25.75036	
Log likelihood	-13047.39	Hannan-Quinn criter	25.55444	
F-statistic	304.8081	Durbin-Watson stat	2.288528	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

5.2.5. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal

Se elaboró otro modelo de datos panel, a nivel nacional con datos anuales comprendiendo el período 1985-2017 (ver tabla 16). Se utilizó la superficie siniestrada en toneladas de maíz en grano de temporal (SUPSIN?), como variable dependiente, y la precipitación pluvial media (PRE?) y temperatura media (TEM?), como variables independientes.

En dicho modelo (ver tabla 16) se observó que la temperatura media anual, es la única variable independiente que incide en la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal. Esto debido a que el valor *prob* de la temperatura (0.0000) es inferior a 0.05, nivel máximo aceptable de error estadístico. Sin embargo, el nivel de explicación que tiene el modelo es casi nulo, al registrar 0.018522 en la *R* cuadrada (*R-squared*).

Tabla 16. Modelo de datos panel a nivel nacional, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: SUPSIN? Method: Pooled Least Squares Date: 03/14/19 Time: 14:22 Sample: 1985 2017 Included observations: 33 Cross-sections included: 31 Total pool (balanced) observations: 1023				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	54659.98	6285.534	8.696156	0.0000
TEM?	-1445.312	333.5090	-4.333652	0.0000
PRE?	3.951731	2.674785	1.477401	0.1399
R-squared	0.018522	Mean dependent var	28106.18	
Adjusted R-squared	0.016597	S.D. dependent var	37890.29	
S.E. of regression	37574.53	Akaike info criterion	23.90897	
Sum squared resid	1.44E+12	Schwarz criterion	23.92343	
Log likelihood	-12226.44	Hannan-Quinn criter.	23.91446	
F-statistic	9.624417	Durbin-Watson stat	1.248683	
Prob(F-statistic)	0.000072			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

5.2.6. Modelo de datos panel por estado, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal

También se elaboró el modelo de datos panel para todos los estados productores de maíz en grano de temporal durante el período 1985-2017 (ver tabla 17). En este modelo se utiliza como variable dependiente la superficie siniestrada en toneladas de maíz en grano para cada estado productor (SUPSIN?), y como variables independientes la precipitación pluvial media (PRE) y la temperatura media de cada estado (TEM), ver tabla 17.

Al analizar el valor *prob* de la temperatura media (ver tabla 17), se observó que es menor al 0.05³⁹ en los estados de Aguascalientes (AGU), Baja California Norte (BCN), Campeche (CAM), Coahuila (COA), Ciudad de México (CMX), Colima (COL), Guanajuato (GUA), Hidalgo (HID), Morelos (MOR), Nayarit (NAY), Sonora (SON), Tabasco (TAB) y Zacatecas (ZAC). Se interpreta que, para los 13 estados, las variaciones en la temperatura media, registrada en cada uno, sí influyen en la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa (ver mapa 5).

Mapa 5. Estados en los cuales la temperatura incide en la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal



Fuente: Elaboración propia

³⁹ Valor máximo de error estadístico aceptable.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

En el caso de la precipitación pluvial media (ver tabla 17), se observó que el valor *prob* es menor a 0.05 en los estados de Aguascalientes (AGU), Chihuahua (CHH), Durango (DUR), Guanajuato (GUA), Guerrero (GRO), Jalisco (JAL), Oaxaca (OAX), Querétaro (QUE), Yucatán (YUC) y Zacatecas (ZAC). Esto quiere decir que, las variaciones en la precipitación pluvial media de cada estado sí influye en el comportamiento de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa. En cuanto al valor de R cuadrada (*R-squared*), que es de 0.418477, implica que el modelo tiene un nivel explicativo medio del 41% aproximadamente (ver mapa 6).



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Modelo de datos panel por estado, caso de la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal

Dependent Variable: SUPSIN? Method: Pooled Least Squares Date: 03/14/19 Time: 14:24 Sample: 1995 2017 Included observations: 33 Cross-sections included: 31 Total pool (balanced) observations: 1023				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob
C	77314.04	12718.34	6.078941	0.0000
AGU-TEMAGU	4404.821	1295.805	3.398747	0.0007
BCN-TEMBCN	-3551.431	885.1421	-4.135545	0.0000
CAM-TEMCAM	-3008.354	1150.840	-2.591541	0.0087
CHP-TEMCHP	-855.7821	1115.578	-0.758024	0.4427
CHH-TEMCHH	505.9834	1250.345	0.404622	0.6858
CMX-TEMCMX	-3674.078	1487.584	-2.707885	0.0089
COA-TEMCOA	-2936.834	633.3049	-3.528721	0.0004
COL-TEMCOL	-2882.044	757.5459	-3.804448	0.0002
DUR-TEM DUR	-455.7725	1205.421	-0.378088	0.7055
GUA-TEMGUA	3832.882	1208.705	3.175304	0.0015
GRO-TEMGRO	138.8424	1301.258	0.107314	0.9145
HID-TEMHID	-5808.205	1798.318	-3.118520	0.0018
JAL-TEMJAL	75.13221	1185.357	0.053590	0.9492
MEX-TEM MEX	-2417.722	1843.894	-1.243588	0.2139
MIC-TEM MIC	-1085.085	1273.499	-0.850588	0.3885
MOR-TEM MOR	-3451.837	884.8981	-3.564511	0.0005
NAY-TEM NAY	-2658.480	1208.469	-2.200885	0.0280
NLE-TEM NLE	-1887.614	882.0111	-1.832378	0.0538
OAX-TEM OAX	512.7148	1039.485	0.493990	0.3757
PUE-TEM PUE	285.3285	1488.705	0.180855	0.8587
QUE-TEM QUE	-788.2183	1241.048	-0.617357	0.5371
ROO-TEM ROO	-847.1944	1228.450	-0.526821	0.5884
SLP-TEM SLP	335.1828	1136.554	0.294918	0.7681
SIN-TEM SIN	-1337.594	1057.287	-1.255214	0.2051
SON-TEM SON	-2804.287	1028.887	-2.620007	0.0048
TAB-TEM TAB	-3157.894	1325.489	-2.380038	0.0170
TAM-TEM TAM	-1883.515	1180.250	-1.593597	0.1438
TLA-TEM TLA	-2877.880	2098.782	-1.369997	0.1846
VER-TEM VER	-1721.884	1882.478	-1.017258	0.3093
YUC-TEM YUC	654.8834	1203.289	0.544082	0.5885
ZAC-TEM ZAC	5744.712	1824.752	3.155750	0.0004
AGU-PREAGU	-198.5917	35.89168	-5.385815	0.0000
BCN-PREBCN	-33.68719	59.73255	-0.563967	0.5729
CAM-PRECAM	16.82994	21.07764	0.798473	0.4248
CHP-PRECHP	-16.80526	12.37437	-1.358071	0.1748
CHH-PRECHH	-112.2137	41.97255	-2.673503	0.0076
CMX-PRECMX	-15.23552	27.26757	-0.558741	0.5765
COA-PRECOA	-13.20312	23.21824	-0.568653	0.5697
COL-PRECOL	-2.325548	13.51476	-0.172075	0.8634
DUR-PREDUR	-93.50350	37.25600	-2.509757	0.0122
GUA-PREGUA	-104.8373	27.15993	-3.859998	0.0001
GRO-PREGRO	-56.85099	28.36926	-2.003965	0.0454
HID-PREHID	71.43534	40.10881	1.781039	0.0752
JAL-PREJAL	-54.10967	25.02991	-2.078750	0.0379
MEX-PRE MEX	-21.08706	34.76739	-0.606518	0.5443
MIC-PREMIC	-34.15616	28.43188	-1.201685	0.2298
MOR-PRE MOR	-1.912023	15.30634	-0.124917	0.9006
NAY-PRENAY	-7.667118	23.41812	-0.327401	0.7434
NLE-PRENLE	-28.62104	26.22521	-1.091356	0.2754
OAX-PRE OAX	-26.98002	15.12941	-1.783283	0.0749
PUE-PREPUE	-8.489493	16.57365	-0.512228	0.6086
QUE-PREQUE	-72.06595	32.40982	-2.223584	0.0264
ROO-PRE ROO	-28.77638	22.12780	-1.300463	0.1938
SLP-PRESLP	-1.073081	24.52004	-0.043763	0.9651
SIN-PRESIN	-33.03517	32.86018	-1.005325	0.3150
SON-PRES ON	-28.89289	46.85209	-0.619327	0.5358
TAB-PRE TAB	7.619363	14.52010	0.524746	0.5999
TAM-PRE TAM	-13.53718	30.42343	-0.444959	0.6564
TLA-PRE TLA	-38.43936	37.36922	-1.028637	0.3039
VER-PRE VER	4.327963	23.13175	0.187101	0.8516
YUC-PREYUC	-60.54494	28.26239	-2.142244	0.0324
ZAC-PREZAC	-237.4385	48.74071	-4.871482	0.0000
R-squared	0.418477	Mean dependent var	28106.18	
Adjusted R-squared	0.380920	S.D. dependent var	37890.29	
S.E. of regression	29812.59	Akaike info criterion	23.50285	
Sum squared resid	8.53E+11	Schwarz criterion	23.80550	
Log likelihood	-11958.71	Hannan-Quinn criter.	23.61814	
F-statistic	11.14254	Durbin-Watson stat	1.884106	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia utilizando Eviews para el procesamiento de datos, con información obtenida del SIAP y SMN.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta la discusión de los resultados, producto de la presente investigación. Los resultados son comparados con otras investigaciones realizadas sobre el área temática, principalmente sobre los pronósticos que conlleva el cambio climático en la agricultura y producción de alimentos, llevando la discusión a partir de los resultados obtenidos en los dos métodos, el primero donde se implementaron los modelos de regresión lineal y en el segundo caso, la utilización de los modelos de datos panel.

En los primeros cuatro modelos econométricos de regresión lineal, elaborados para el caso particular de Michoacán en el período 1998-2017, con datos mensuales del maíz blanco de temporal no se logró demostrar una relación estadística aceptable entre el precio frecuente de maíz blanco y la precipitación media y temperatura media. Misma situación que se presentó al utilizar el precio máximo y mínimo en relación a la temperatura y precipitación.

En los últimos cuatro modelos econométricos de regresión lineal, elaborados para el caso particular de Michoacán en el período 1985-2017, con datos mensuales del maíz en grano de temporal tampoco se logró demostrar una relación estadística aceptable entre la superficie cosechada de maíz en grano de temporal y la precipitación media y temperatura media. Esta situación prevaleció al utilizar la superficie siniestrada, el valor de la producción y el precio medio rural, es decir, ni la precipitación pluvial media ni la temperatura media tienen una relación con la superficie cosechada, con la superficie siniestrada, con el valor de la producción ni con el precio medio rural. Dicha situación puede explicarse en parte al corto periodo de datos anuales que se obtuvieron y que no son suficientes para el análisis de modelos de regresión lineal. También parte de dichos resultados es la no existencia de series estadísticas, para el periodo 1985-2017, sobre el precio mensual del maíz en grano para Michoacán.

En cuanto al modelo econométrico de datos panel, se obtuvieron resultados interesantes. En el modelo de datos panel realizado a nivel nacional, donde se relaciona la precipitación pluvial media y la temperatura media con el valor de la producción se demuestra que la precipitación pluvial sí influye en la determinación del valor de la producción de maíz en grano de temporal a nivel nacional. Pero la temperatura media no influye en el valor de la producción, es decir, que las variaciones de temperatura no afectan el valor de la producción del maíz en grano a nivel nacional.

Referente a la producción de maíz en grano de temporal, utilizada en el modelo de datos panel a nivel nacional, se demuestra que la precipitación pluvial, al igual que en el caso del valor de la producción, también influye en la cantidad de producción de maíz que se tiene a nivel nacional. Sin embargo, no se pudo demostrar que las variaciones de temperatura afectan la cantidad de producción de maíz en grano de temporal a nivel nacional.

Al analizar, a nivel nacional, la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal, se demuestra que la temperatura media sí determina la cantidad de maíz que se declara en calidad de siniestro. Pero en el caso de la precipitación pluvial no se puede demostrar estadísticamente que ésta afecta la superficie siniestrada de maíz, llegando a ser una limitación del modelo al carecer de una validación estadística aceptable.

En el modelo de datos panel realizado por estados, donde se relaciona la precipitación pluvial media y la temperatura media con el valor de la producción se demuestra que la precipitación pluvial sí determina en parte el valor de la producción de maíz en grano de temporal, únicamente para los estados de Sinaloa, Jalisco y Estado de México, principales productores de maíz. Sin embargo, en dichos estados no afectan las variaciones de temperatura media en el valor de la producción de maíz en grano de temporal.

En cuanto a la producción de maíz en grano de temporal, se demuestra que, en los estados de Baja California Norte, Coahuila, Oaxaca, y Veracruz, la temperatura

media es la única que sí afecta la producción de maíz en grano de temporal que tiene cada entidad federativa no influyendo la precipitación pluvial media en dichos estados. La precipitación pluvial únicamente influye en la producción de maíz en grano de temporal en los estados de Guanajuato, Guerrero y Estado de México. En las entidades federativas en donde sí afecta tanto la precipitación pluvial media como la temperatura media en la producción de maíz en grano son Chiapas, Jalisco, Michoacán y Puebla.

Al analizar la superficie siniestrada, se demostró que, únicamente, la temperatura media afecta la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal en los estados de Baja California Norte, Campeche, Coahuila, Ciudad de México, Colima, Hidalgo, Morelos, Nayarit, Sonora y Tabasco. Mientras que, solamente, la precipitación pluvial afectó la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal en los estados de Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Querétaro y Yucatán. Como caso especial se encuentran Aguascalientes Guanajuato y Zacatecas, donde tanto la temperatura media como la precipitación pluvial media sí afectan la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal.

En el caso particular de Michoacán, cuarto estado productor de maíz, se demuestra estadísticamente que las variaciones en la precipitación pluvial y la temperatura media sí determinan el valor de la producción de maíz en grano de temporal. Referente al caso particular de la producción, se demuestra estadísticamente, al igual que en el caso anterior, que las variaciones en la precipitación pluvial media y en la temperatura media sí afectan la cantidad de producción de maíz en grano. Corroborándose así que, en Michoacán, las variaciones climáticas sí afectan el valor de la producción de maíz en grano de temporal. De manera que, mediante los resultados de los modelos de datos panel, se verifican las dos hipótesis específicas de la investigación (ver tablas 11 al 16), afirmándose en la primera hipótesis que el incremento de temperatura influye de manera negativa sobre la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, así como incrementa el valor de su producción por tonelada producida, y en la segunda hipótesis se indica que la variación de precipitación

pluvial impactará negativamente en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, generando con ello un incremento en el valor de su producción por tonelada producida.

Estos resultados permiten afirmar que el valor de la producción de maíz en grano, tanto a nivel nacional como en Michoacán, se encuentra determinado en parte por el incremento de temperatura y la variación de precipitación pluvial. Esto afectaría en el largo plazo a Michoacán, si se cumpliesen las expectativas sobre un incremento de temperatura, porque eso desencadenaría una disminución de precipitación pluvial, disminuyendo la producción de maíz en grano de temporal. A su vez, esta situación afectaría el consumo de maíz en Michoacán, disminuyéndose, al menos que trataran de compensar la demanda insatisfecha mediante el incremento de importaciones de maíz, lo que generaría una dependencia alimentaria traducida en inseguridad y falta de soberanía en el maíz. En ambas situaciones, habría una afectación directa a todos los productores de maíz en grano de temporal, especialmente a los campesinos que destinan su cultivo para autoconsumo porque si el clima disminuye la producción de maíz, también se reducen los ingresos del productor. Si se opta por importar maíz para satisfacer la demanda, representa un ingreso que dejan de percibir los productores nacionales.

Los resultados obtenidos en el modelo econométrico de regresión lineal, no se obtuvieron resultados favorables, no pudiéndose demostrar la relación que existe entre las variables precipitación y temperatura sobre la variable producción de maíz en grano para Michoacán.

Los resultados más sobresalientes se obtuvieron en el modelo de datos panel realizado a nivel nacional, en donde se obtuvo que la precipitación pluvial media sí influye de manera directa en la determinación de la producción y su valor del maíz en grano de temporal a nivel nacional. Y como la temperatura sí incide de manera inversa sobre la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal a nivel nacional. En el caso específico de los estados donde se cultiva el maíz, se demostró la relación que existe entre la temperatura y la producción y valor del

maíz en grano de temporal, y como en otros estados es la precipitación la que determina la producción y su valor. Dichos resultados se encuentran en el mismo sentido que las estimaciones de la FAO (2003), donde pronostican que el maíz será uno de los más sensibles en América Latina ante el cambio climático. Adicionalmente los resultados del modelo de datos panel, tienen sentido respecto a las investigaciones de Lobell *et al.* (2008), referente a que, en el sur de Asia y África, los cultivos propensos a afectaciones por el cambio climático son algunas variedades de maíz, trigo y arroz.

Los resultados también coinciden con los estudios de Velázquez (2002), Betanzanos *et al.* (2009) y Terrazas *et al.* (2010), en donde se llega a la conclusión que el maíz en grano de temporal es un cultivo vulnerable a la variabilidad climática de la región donde se encuentren, de manera que los cambios en las condiciones climáticas afectan directamente la calidad y cantidad de la cosecha. Adicionalmente, la disminución de precipitación pluvial afecta el valor de la producción, coincidiendo con las investigaciones de Magaña (2004) y Conde *et al.* (2004), donde mencionan que las oscilaciones del fenómeno El Niño ocasiona que se acentúe más de lo normal la precipitación pluvial en verano, lo que ha ocasionado un mayor incremento en la superficie siniestrada de maíz en México.

Según los pronósticos que se tienen para México mediante el modelo GFDL-TR-90⁴⁰ muestran que la demanda de agua para el maíz se incrementará, principalmente en el centro y norte del lago de Chapala. Esto implica que incrementará la demanda de agua para mantener el nivel de humedad requerida en el cultivo del maíz, deduciéndose que la precipitación disminuirá y para compensarla se demanda una mayor cantidad de agua en el cultivo, es decir, que la mayor demanda de agua para la agricultura se debe al efecto de la disminución de la precipitación, del impacto del incremento de la temperatura en la evapotranspiración y del acortamiento del ciclo fenológico, conclusiones a las que llega Allen *et al.* (1991).

⁴⁰ Es otro modelo de circulación general (MCG) utilizado para pronósticos de incrementos de temperatura.

Analizando los resultados del modelo HADLEY-TR-00, muestran que el incremento de agua en el cultivo de maíz es mucho mayor al que pronostica el modelo GFDL-TR-90, además ambos modelos pronostican que el escurrimiento medio anual disminuirá, principalmente en el estado de Jalisco.

Los resultados obtenidos referente a la precipitación, tanto a nivel nacional como en Michoacán, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Veracruz, Guanajuato, Estado de México, Puebla, Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Oaxaca, Querétaro, Yucatán y Zacatecas (ver mapa 2, 4 y 6), concuerdan con las proyecciones de los modelos de circulación general acoplados (MCGA) donde se espera que habrá incrementos de temperatura y disminución de precipitación en la mayor parte del territorio (Montero y Pérez, 2008). En ese mismo sentido, la investigación de Ojeda, Sifuentes, Iñiguez y Montero (2011), realizada para Sinaloa, llega a la conclusión de un incremento de temperatura media diaria mensual, así como una disminución de la precipitación en menos del 30% para finales del siglo XXI.

Según los escenarios predichos para el siglo XXI, se estima un incremento de temperatura y una pequeña disminución de la precipitación anual en las regiones de cultivo en nuestro país (Magaña y Caetano, 2007). En ese contexto, también Ruiz *et al.* (2010), demuestra que el incremento de temperatura y evapotranspiración, así como la disminución de la precipitación reducirán la tierra para producir maíz y también se reducirá su rendimiento económico. Estas investigaciones se encuentran en el mismo sentido que la realizada por Ruiz *et al.* (2011), donde se utiliza el modelo de circulación general REA, bajo un escenario de emisiones de gases efecto invernadero A2 (IPCC, 2007), enfocada en analizar el potencial productivo para maíz en áreas de uso agrícola en condiciones de temporal para las zonas agrícolas productoras de maíz de temporal en México⁴¹. En dicha investigación se tiene resultado para el período 2051-2060, con incrementos de temperatura de 1.9, 1.9, 2, 1.9 y 1.8 °C en las zonas trópico,

⁴¹ Valles muy altos (> 2600 msnm), valles altos (2200 a 2600 msnm), zona de transición (1900 a 2200 msnm) zona subtropical (1200 a 1900 msnm) y zona tropical (< 1200 msnm). Entre estas regiones, donde se cultiva el maíz, se tiene diferencias térmicas notorias que van desde los 14.4 °C en los valles altos hasta 26.8 °C en la zona tropical

subtrópico, transición, valles altos y valles muy altos⁴², resultados que coinciden también por los estimados por Gay *et al.* (2004), donde estimaron un incremento de 2 °C para el año 2050 en la temporada de verano. En cuanto a las estimaciones de la precipitación pluvial se prevé una disminución de 4.4, 3.8, 4.1, 4.5 y 4.4% en las zonas trópico, subtrópico, transición, valles altos y valles muy altos, encontrándose que el cambio climático tendrá un impacto negativo en la producción de maíz en México en las próximas décadas, donde la precipitación y temperatura influyen en la producción de maíz en grano (Ruiz *et al.*, 2011).

Los resultados referentes a la temperatura y precipitación, si bien muestran una relación con el valor de la producción del maíz en grano, concuerdan con estimaciones donde habrá una disminución de la producción en las regiones aptas para su cultivo, afectando principalmente a Yucatán y Chiapas (Ballesteros, Jiménez y Hernández, 2011).

Los resultados que se obtuvieron de la presente investigación, se encuentran en el mismo sentido que varias de las investigaciones citadas anteriormente. Además, los resultados que se obtuvieron en esta investigación son importantes para desarrollar una metodología para determinar los costos de adaptación que se tendrán en la producción de maíz en grano, como consecuencia del cambio climático. La temperatura y precipitación son variables importantes para pronosticar el valor de la producción de maíz en grano en México.

Como se mencionó en el capítulo 1 subtema 1.3 El cambio climático y los costos de adaptación, no es fácil determinar una metodología para calcular los costos de adaptación ante el cambio climático en la producción de alimentos, más aún, de un cultivo en específico, pero prevalece la necesidad a nivel internacional en determinar dichos costos, para financiar a los países con mayor grado de vulnerabilidad ante el cambio climático y mitigar la afectación en su producción de alimentos.

Con estos resultados se logra tener la primera fase sobre el grado de exposición, faltando el análisis de sensibilidad y capacidad de adaptación, para tener un

⁴² Los incrementos de temperatura media son en base a los estimados en el período 1961-2003.

El impacto del cambio climático en la producción de maíz en México y Michoacán como base para una metodología de costos de adaptación

modelo completo que determine los costos de adaptación en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en el caso particular de Michoacán.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cambio climático es un asunto prioritario que está afectando la producción de alimentos a nivel global. Repercutiendo particularmente a México en distintos cultivos, incluyendo el maíz. Además, el maíz expresa relaciones sociales formando parte de simbolismos culturales y es considerado patrimonio cultural y de una riqueza social invaluable.

Sin embargo, su producción, como de otros alimentos, puede disminuir debido a consecuencia del cambio climático, pronosticándose incrementos de temperatura a nivel global, donde los pronósticos más favorables estiman un incremento entre 1.5 y 2°C (CoP21, 2015). Ante la preocupación de esta situación la Convención Marco de las Naciones Unidas y Cambio Climático (CMNUCC), el Fondo para los Países Menos Adelantados (FPMA) y el Fondo Especial para el Cambio Climático (FECC) han creado fondos económicos a nivel internacional para contrarrestar y hacer frente al cambio climático, esto en torno a los objetivos de la CoP 21 sobre la necesidad de presentar contribuciones determinadas a nivel nacional. Así como desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático y sobre el estudio de metodologías para evaluar las necesidades de adaptación con el fin de prestar asistencia a los países en desarrollo sin imponer una carga indebida.

En ese contexto, el sector agrícola es uno de los aspectos de mayor prioridad, debido a que es un elemento fundamental en las estrategias de desarrollo de cualquier país porque provee alimentos a la población en el corto y largo plazo, y es uno de los más vulnerables ante el cambio climático.

Bajo este ámbito se desarrolló la presente investigación, ante la necesidad de aportar conocimiento en este campo que pueda ser útil para la toma de decisiones presentes y futuras, así como para la continuidad de futuras investigaciones en torno a dicha preocupación.

Es así que, en esta investigación se planteó como objetivo general determinar la manera en que influye el cambio climático en la producción de maíz en grano a

nivel nacional y en el caso de Michoacán y establecer las bases metodológicas para determinar los costos de adaptación en la producción de maíz en grano en Michoacán.

Respecto a ello, se logró el objetivo ya que se determinaron los factores que influyen en la producción de maíz en grano, tanto a nivel nacional como en Michoacán, donde la temperatura y la precipitación pluvial ocasionan dichos cambios.

La hipótesis general planteada fue: El cambio climático, determinado por la precipitación pluvial y la temperatura, tiene un impacto directo en las variaciones de producción del maíz en grano, tanto a nivel nacional como en el estado de Michoacán.

Referente a la hipótesis general, en la investigación se concluye que efectivamente, el valor de la producción de maíz en grano se debe en parte al incremento de temperatura, pero también inciden las variaciones de precipitación pluvial. Sin embargo, estos factores influyen de forma diferente, según sea la entidad federativa.

En cuanto a los objetivos específicos, se planearon, primeramente, determinar las consecuencias que tendrá el incremento de temperatura sobre el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, y, en segundo lugar, establecer las repercusiones que tendrá la alteración de precipitación pluvial en el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán.

En cuanto al primer objetivo, en el modelo de datos panel a nivel nacional, no se demostró estadísticamente una relación entre la temperatura y la producción de maíz en grano de temporal, así como tampoco la relación entre la temperatura y el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional. Sin embargo, sí se mostró una relación inversa entre la temperatura y la superficie siniestrada de maíz en grano a nivel nacional, es decir, sí disminuye la temperatura incrementa la superficie siniestrada de maíz en grano de temporal a nivel nacional. Sin embargo,

en el caso de la precipitación, no se logró demostrar alguna relación estadísticamente significativa. En el caso particular de Michoacán, se logra determinar una relación entre la temperatura media y el valor y su producción de maíz en grano de temporal.

En cuanto al segundo objetivo, a nivel nacional, en el caso de la producción de maíz en grano a nivel nacional, se demostró que existe una relación directa entre la precipitación pluvial media y la producción de maíz en grano de temporal, es decir, si disminuye la precipitación pluvial media, disminuirá la producción de maíz en grano a nivel nacional. Fue el mismo resultado al analizar la precipitación pluvial media y el valor de la producción. Sin embargo, no se pudo demostrar alguna relación entre la temperatura y la producción de maíz en grano de temporal, así como tampoco la relación entre la temperatura y el valor de la producción de maíz en grano a nivel nacional. En el caso particular de Michoacán también se logró demostrar una relación entre la precipitación pluvial media y el valor y producción de maíz en grano de temporal.

Al abordar las hipótesis específicas de la investigación, la primera de ellas menciona que el incremento de temperatura influye de manera negativa sobre la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, incrementando con ello el valor de su producción. No se pudo demostrar a nivel nacional la relación entre la temperatura media y la producción de maíz, así como su valor. Sin embargo, se logró demostrar a nivel nacional una relación inversa entre la temperatura media y la superficie siniestrada con nivel de significancia del 5%. En el caso particular de Michoacán, se demostró que la temperatura media sí determina tanto el valor como la producción de maíz en grano de temporal,

La segunda hipótesis de la investigación menciona que la variación de precipitación pluvial impactará negativamente en la producción de maíz en grano a nivel nacional y en Michoacán, generando con ello un incremento en el valor de su producción. En este caso, en los modelos de datos panel, se demostró a nivel nacional que existe una relación directa entre la precipitación pluvial media y la producción de maíz en grano de temporal, misma situación presente entre la

precipitación pluvial media y el valor de la producción de maíz en grano de temporal. En el caso particular de Michoacán, también se demuestra que la precipitación pluvial determina tanto el valor como la producción de maíz en grano de temporal.

De tal manera que, el cumplimiento de los objetivos e hipótesis de investigación se alcanzaron parcialmente. No estableciéndose claramente, a nivel nacional, una relación entre la temperatura media y la producción de maíz en grano de temporal. Además, quedó fuera del alcance de la presente investigación, el tipo de productor de maíz, la tecnología utilizada para su producción, las variedades de maíz producidas y no considerándose el mercado de destino (importación o exportación).

Sobre la discusión en torno a si el cambio climático es de origen antropogénico o no, la postura institucional (IPCC) ha sido que el cambio climático se debe a cuestiones antropogénicas, la cual se definió a partir del 2007. Sin embargo, el debate aún está vigente, y varios científicos opinan lo contrario. Ante ese contexto, con la incertidumbre en cuanto al origen sobre el cambio climático, es importante cambiar el comportamiento que tiene la humanidad sobre la utilización de los recursos naturales, y maximizar la utilización de los mismos. Por ejemplo, las islas plásticas descubiertas en los océanos, no obedecen a cuestiones naturales, claramente es la contaminación que causa el ser humano sobre el planeta, que afecta a las especies de los océanos que albergan toneladas de plásticos, producto de los desechos del hombre.

En el mismo sentido, sucede con la contaminación del aire en las principales ciudades del mundo, que por su propia naturaleza son incapaces de mantenerse a límites geográficos, afectando a diversas zonas. Por ello, la necesidad de controlar las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), tomando acciones encaminadas a una menor dependencia de combustibles fósiles. Pese a ello, existen posturas que mencionan que el cambio climático es una estrategia de crecimiento económico que obedece a cuestiones políticas, iniciadas por Margaret Thatcher, la “dama de hierro” en Inglaterra, con la finalidad de justificar el

desarrollo de la energía nuclear, desacreditando a las fuentes de energía que utilizan combustibles fósiles por sus altas emisiones de GEI.

Otros mencionan que el cambio climático tiene fines de explotación comercial, y que el medio ambiente, se ha convertido en un negocio muy lucrativo, desarrollando productos y tecnologías amigables con la naturaleza, que generan jugosas ganancias, lucrando ante la incertidumbre sobre las consecuencias de eliminar ecosistemas, especies, y recursos naturales. No teniendo la seguridad de los efectos que puede causar la depredación de los recursos naturales más allá de la capacidad de regeneración de los mismo. Bajo ese contexto, lo prudente sería actuar bajo el principio de precautoriedad y, por tanto, actuar como sociedad, conservando los recursos naturales, respetando los límites de regeneración, porque el cambio climático ya se ha hecho evidente, y pueden existir riesgos desastrosos para la sociedad en general.

De manera que, se llega a la conclusión que es fundamental cuidar el medio ambiente y actuar bajo el concepto de sostenibilidad, que implica preservar la biodiversidad sin tener que renunciar al progreso económico y social. Ello implicaría reducir en lo mayormente posible toda fuente de contaminación que deteriore el medio ambiente con la finalidad de evitar un incremento en la temperatura a niveles que dañen la producción de maíz en grano de temporal, porque los más afectados serían los pequeños campesinos que destinan su producción de maíz para su alimentación, así como una disminución para el estado de Michoacán en la producción de maíz en grano, afectando el consumo en el resto de la población. Lo anterior, se encuentra vinculado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, ya que el desarrollo de la presente investigación se encuentra relacionado con el segundo objetivo referente a la erradicación del hambre; con el doceavo objetivo consistente en la producción y consumo responsables; y con el objetivo decimotercero relacionado con las acciones por el clima.

Las recomendaciones que se derivan de esta investigación son varias. Primeramente, queda pendiente determinar el índice de vulnerabilidad que se

tiene en la producción de maíz en grano de temporal, respecto a la precipitación y temperatura.

También sería importante desarrollar las siguientes fases de la metodología para establecer costos de adaptación, ante el cambio climático, en la producción de maíz en grano de temporal. Para ello, es importante: 1) determinar las relaciones que existen entre precipitación y temperatura; 2) determinar el índice de vulnerabilidad que existe en la producción de maíz en grano de temporal en nuestro país y; 3) determinar una metodología para calcular los costos de adaptación en la producción de maíz en grano de temporal. Que en la presente investigación contribuye, contemplando sus limitaciones, con el inciso uno referente en determinar la relación que existe entre la precipitación pluvial media y temperatura media respecto al valor de la producción de maíz en grano de temporal.

Queda pendiente determinar la relación que existe entre las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación máxima y mínima, y la relación que existe de estas variables con la producción y el valor de la producción de maíz en grano de temporal.

Sería importante determinar estimaciones de producción de maíz en grano de temporal a futuro, considerando pronósticos de temperatura y precipitación pluvial futuros.

Finalmente, las líneas de investigación futuras, incluyendo a la propia investigación, es aportar conocimiento en torno al cambio climático y la producción de alimentos, para que esta última no se vea tan afectada ante las estimaciones sobre el incremento de temperatura que se han realizado en el futuro medio y lejano para nuestro planeta

Bibliografía

- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en cuba. (Spanish). *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113-120.
- Adams, R. M. (1989). Global Climate Change and Agriculture: an Economic Perspective, en *American Journal of Agricultural Economics*, 71 (5), 1 272-1 279.
- Adams, R.M., Hurd B. H., Lenhart, S. y Leary N. (1998). Effects of Global Climate Change on Agriculture: An Interpretative Review, en *Climate Research*, 11 (1), 19-30.
- Adger, N. (2007). Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity, en *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Aikins, S.; Afuakwa, J. y Owusu-Akuoko, O. (2012). Effect of four different tillage practices on maize performance under rainfed conditions, en *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3 (1), pp. 25-30, ISSN 21517517, 21517525, DOI 10.5251/ abjna.2012.3.1.25.30.
- Alcina, J. F. (1972). Los dioses del panteon zapoteco, en *Anales de Antropología*, 9: 9-40
- Alikwe, C. N. P.; Ohimain, E. I. y Aina, B. J. A. (2014). Comparative digestibility of maize stover, rice straw, malted sorghum sprout in west african dwarf (wad) sheep, en *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4 (2), pp. 590-594, ISSN 2231-4490.
- Allen, R. G., F. N. Gichuki, and C. Resenzweig. 1991. CO₂- Induced climatic changes and irrigation-water requirements. *J. Water Resources Planning and Manage.* 117: 157-178.
- Antonescua, G.A., Calin, A.M. y Diaconu, A. (2015). Action models for climate change adaptation. Case study: agricultura, en *Managerial Challenges of the Contemporary Society*, 8 (2), 51-55
- Arroyo, J., Saez, E., Rodríguez, M., Chumpitaz, V., Burga, J., de la Cruz, W. y Valencia, J. (2010). Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (*Zea mays* L.) en ratas hipercolesterolémicas, en *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 24: 157-162.
- Asafu-Adjaye, J. (2014). The Economic Impacts of Climate Change on Agriculture in Africa, en *Journal of African Economies*, 23 (2), 1117-11
- Azcón, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. (2a. ed.). España: McGraw-Hill, 651pp.
- Ballesteros, C. B., Jiménez, D.G. y Hernández, G.C. (2011). El impacto potencial del cambio climático sobre los agroecosistemas. El caso del cultivo del maíz, proyecciones al futuro, en *Manejo agroecológico de sistemas*. Aragón G.A., D. Jiménez G. y M. Huerta L. (Eds.). 2011. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. pp. 1-14.

- Banco Mundial. (2008). *Informe sobre el desarrollo mundial 2008: agricultura para el desarrollo*. Washington, D.C.: Banco Mundial
- Banco Mundial. (2009). *Respuestas Latinoamericanas al desafío del cambio climático*.
- Banco Mundial. (2018). Datos. Agricultura, valor agregado (% del PIB). Datos sobre las cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos sobre cuentas nacionales de la OCDE. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS>
- Bazzaz, F. A., Coleman, J. S. y Morse, S. R. (1990). Growth responses of seven major co-occurring tree species of the northeastern United States to elevated CO₂, en *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 14709-1484
- Bazzaz, F.A. (1996). *Plants in Changing Environments. Linking physiological, population, and community ecology*. Cambridge University Press. 320 pp.
- Bejarano, A. y Segovia, M. (2000). Origen y evolución de la especie. Sección1 Origen del maíz. En: *El maíz en Venezuela*. Fundación Polar, 2000. p. 11-14.
- Bellouin, N., Rae, J., Jones, A., Johnson, C., Haywood, J. y Boucher, O. (2011). Aerosol forcing in the Climate Model Intercomparison Project (CMIP5) simulations by HadGEM2-ES and the role of ammonium nitrate, en *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116 (D20206). Disponible en <https://doi.org/10.1029/2011JD016074>
- Bhornchai, H., Bhalang, S., Ratchada, T., Scott, M. y Kamol, L. (2014). Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry* 164, 510–517.
- BID. (2016). ¿Qué es el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)??. Disponible en <http://www.iadb.org/es/temas/medio-ambiente/fondo-para-el-medio-ambiente-mundial/que-es-el-fondo-para-el-medio-ambiente-mundial-fmam.1701.html>
- Blignaut, J., Ueckermann, L., y Aronson, J. (2009). Agriculture production's sensitivity to changes in climate in South Africa, en *South African Journal of Science*, 105(1/2): 61-68
- Bolaños, M. A., Paz, F., Cruz, C. O., Argumedo, J. A., Romero, V. M., y de la Cruz, J. C.. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo, en *Terra Latinoamericana*, 34(3): 271-288. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300271&lng=es&tlng=es.
- Bonilla, Elsy C. y Rodríguez, Penélope S. (1997). *Más allá del dilema de los métodos. La investigación en ciencias sociales*. 3ª Ed. Santafé de Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Bouwman, A. F., Lee, D. S., Asman, W. A. H., Dentener, F. J., Hoek, K. W. Van Der y Olivier, J. G. J. (1997). A global high-resolution emission inventory for ammonia, en *Global Biogeochemical Cycles*, 11 (4): 561–587. Disponible en <https://doi.org/10.1029/97GB02266>

- Bressani, R. 1994. Opaque 2 corn in human nutrition and utilization. *In: Quality protein maize. 1964-1994. Proc. of the international symposium on quality protein maize.* EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. p. 41-63.
- Byjesh, K., Kumar, S., y Aggarwal, P. (2010). Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India, en *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15, 413-431
- C3S. (2020). Temperatura media mundial en relación al promedio 1981-2010. 2019 fue el segundo año más caluroso de todo el mundo. Disponible en: <https://www.epdata.es/temperatura-media-cada-ano-relacion-promedio-1981-2010-todo-mundo/73a70e5f-022c-4db8-b5dc-e6fbfb2d031e>
- Caso, A. (1952). Uru de Oaxaca. México: Secretaría de Educación Pública-Instituto Nacional de Antropología e Historia
- Caso, A. (1953). El pueblo del Sol. México: Fondo de Cultura Económica
- Castañeda, S. A. (2011). Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul, en *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5 (2): 75-83
- Castañeda, Y. Z. (2009). Para los productores maiceros de México ¿un maíz transgénico?, en *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 9(17)
- Castañeda, Yolanda y José Luis García. (2007). Papel estratégico de la diversidad genética del maíz y situación de los pequeños productores campesinos y los cambios tecnológicos. México, ponencia presentada en el VI Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales, Veracruz, Ver. Octubre.
- Ceccon, Eliane. (2008). La revolución verde: tragedia en dos actos, en *Ciencias*, 91: 20-29, julio-septiembre
- CEPAL (2014), *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: CEPAL.
- CEPAL. (2009). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: Una reseña*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- CEPAL. (2018). La economía del Cambio Climático en América Latina y El Caribe: Una Visión Gráfica [Field, Bárcenas, A., Samaniego, J., Galindo, L. M., Ferrer, J., Alatorre, J. E., Stockins, P., Reyes, O., Sánchez, L. y Mostacedo, J. (eds.)]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile, 59 págs. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42228/4/S1701215A_es.pdf
- CMNUCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Río de Janeiro: Naciones Unidas. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Códice Chimalpopoca. (1945). Tratado de Primo Feliciano Velázquez. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Historia. Pp 119-164
- Cody, R. J., Strellner, R. S., y Leakey, A. B. (2012). Impairment of C4 photosynthesis by drought is exacerbated by limiting nitrogen and ameliorated by elevated [CO₂] in maize, en *Journal Of Experimental Botany*, 62(11): 3235-3246

- Coe, M. (1962). An Olmec desing on an early Peruvian vessel, en *American Antiquity*, 27 (4): 579-580
- Coe, M. (1965). The Olmec style and its distribution, en *Handbook of Middle American Indians*, 3: 739-775, Austin, Univerty of Texas Press
- Coe, M. (1968). American first civilization: Discovering the Olmec. New York-Waschington: American Heritage Publishing Co. y Smithsonian Institution
- Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., ... Woodward, S. (2011). Model Development Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2, en *Geoscientific Model Development*, 4: 1051–1075. Disponible en <https://doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2009b), *Documento base sobre centros de origen y diversidad en el caso de maíz en México*. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/Doc_CdeOCdeDG.pdf.
- Conde, C., Gay, C., Estrada, F., Fernández, A., López, F., Lozano, M. et al. (2008). *Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional*. Primera Versión. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 104pp.
- Conde, C., R. M. Ferrer, C. Gay y R. Araujo. (2004). Impactos del cambio climático en la agricultura en México. pp. 225-236. En: J. Martínez y A. Fernández. (eds.). *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- COP21. (2015). Aprobación del acuerdo de Paris. Convención Marco sobre el Cambio Climático. Paris: Naciones Unidas – FCCC
- Cuba, M.V. (2012). “El pan del futuro: cambio climático, agricultura y alimentación en América Latina”, en *Debates en Sociología*, 27, 131-153
- Chávez, A; Chávez, M. (2004). *La tortilla de alto valor nutritivo*. Mc Graw Hill. México, D.F. 110 p.
- Chimalpopoca, F. G. (1975). *Código Chimalpopoca: Anales de Cuauhtitlán y Leyenda de los Soles* (formato PDF), traducción de Faustino Chimalpopoca Galicia, 2a ed., México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas
- Chun, Y., Hee,W., He, Li., Deug, C. y Hae, I. (2013). Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chemistry* 152: 592–596. de Pascual - Teresa S.; Sánchez - Ballesta. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochem.* 7:281-299.
- Da Cunha, D. A., Coelho, A.B. y Féres, J. G. (2015). Irrigation as an Adaptive Strategy to Climate Change: An Economic Perspective on Brazilian Agriculture, en *Environment and Development Economics*, 20 (01), 57-79.
- Damián Huato, M. A., Romero-Arenas, O., Sangerman-Jarquín, D. M., Reyes-Muro, L., Lezama, C. P., & Orozco Cirilo, S. (2016). Maíz, potencial productivo y seguridad alimentaria: el caso de San Nicolás de Los Ranchos, Puebla-México, en *Nova Scientia*, 8(16), 352-370.

- Danhke, G. L. (1989). Investigación y comunicación. En C. Fernández-Collado y G. L. Danhke (Eds.). *La comunicación humana: Ciencia social* (pp. 385-454). México: McGraw-Hill
- De la Torre, A., Fajnzylber, P. y Nash, J. (2009). *Low Carbon, High Growth: Latin American Responses to Climate Change*, World Bank.
- Decharme, B., Alkama, R., Douville, H., Becker, M., Cazenave, A., Sheffield, J., ... Moigne, P. Le. (2010). Global Evaluation of the ISBA-TRIP Continental Hydrological System. Part I: Comparison to GRACE Terrestrial Water Storage Estimates and In Situ River Discharges, en *Journal of Hydrometeorology*, 11 (3): 583–600. Disponible en <https://doi.org/10.1175/2010JHM1211.1>
- Deschênes, O., y Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather, en *The American Economic Review*, 97, (1), 354-385.
- Di Falco, S., Yesuf, M., Kohlin, G. y Ringler, C. (2012). Estimating the Impact of Climate Change on Agriculture in Low-income Countries: Household Level Evidence from the Nile Basin, Ethiopia, en *Environmental and Resource Economics*, 52, (4), 457-478.
- Durkin, M. (2007). The Great Global Warming Swindle. United Kingdom. Chanel
- Four Betanzos, E., A. Ramírez, B. Coutiño, N. Espinosa, M. Sierra, A. Zambada y M. Grajales. (2009). Híbridos de maíz resistentes a la pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. *Agricultura Técnica en México* 35: 389-398
- El Afandi, G., Khalil, A., y Ouda, S. (2010). Using irrigation scheduling to increase water productivity of wheat-maize rotation under climate change conditions, en *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3): 474-484
- El país. (2007). Ame. Medio ambiente. Disponible en https://elpais.com/sociedad/2007/05/22/actualidad/1179784806_850215.html
- Ellison, N. (2004). Une écologie symbolique totonaque, le municipe de Huehuetla (Mexique), en *Journal de la Société des Américanistes*, 90 (2): 36-52.
- Ellison, N. (2007). Symbolisme sylvestre et rapports d'altérité dans une danse rituelle totonaque, en *Annales de la Fondation Fyssen*, 22: 83-97
- Enciso y Pérez, M. (2001). "Pide Greenpeace plan de emergencia ante la contaminación del maíz" en *La Jornada*, sección política, 21 de septiembre, p. 37.
- Enciso y Perez. (2001). "DNA transgénico descubierto en maíz mexicano nativo, revelan investigadores de la Universidad de Berkeley" en *Nature*.
- Espinosa, A; Gómez, N; Sierra, M; Betanzos, E; Caballero, F. (2006). Variedades e híbridos de calidad proteínica. Academia Mexicana de las Ciencias, en *Revista Ciencia*, 57(3):28-34.
- Estévez, Macarena (2018). Inteligencia Analítica. Econometría. Estadística. Modelos econométricos. España. Disponible en <https://inteligencia-analitica.com/modelos-econometricos/>
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). (2013). *Climate-Smart Agriculture*. Disponible en http://www.fao.org/index_es.htm

- FAO. (2003). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *World Agriculture: Towards 2015/2030*. Rome; UN Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *World Agriculture: Towards 2030/2050 – Interim Report*. Rome: Food and Agriculture Organization of UN.
- Fernandes, E., Soliman, A., Confalonieri, R., Donatelli, M. y Tubiello, F. (2012). Climate Change and Agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected Impacts and Response to Adaptation Strategies, Banco Mundial, Washington.
- Fernández Nava, M. A. (2016). Construcción social del maíz transgénico: grupos sociales relevantes en Chihuahua. *Íconos*, en *Revista De Ciencias Sociales*, (54), 27-48. doi:10.17141/iconos.54.2016.1740
- Fernández, A. E., Zavala, J. Z., Romero, R. C., Conde, A. A. Y Trejo, R. V. (2015). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: http://atlasclimatico.unam.mx/inecc/Atlas_2_190215_documentacion.pdf
- Field, C. B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E. y White, L.L. (eds.) (2014). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press / Cambridge, Reino Unido / Nueva York.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F.N. y Van Velhuizen, H. (2005). Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080, en *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, (1 463), 2 067-2 083.
- FMAM. (2011). El FMAM de la A a la Z: Guía Del Fondo para el Medio Ambiente Mundial para Las Organizaciones de la Sociedad Civil. Global Environment Facility
- FMAM. (2011a). Estrategia de Programación sobre Adaptación al Cambio Climático para el Fondo para los Países Menos Adelantados y el Fondo Especial para el Cambio Climático
- FMAM. (2015). El FMAM de la A a la Z: Guía Del Fondo para el Medio Ambiente Mundial para Las Organizaciones de la Sociedad Civil. Global Environment Facility
- France24. (2018). Programas. Medio ambiente. Cada año se descubren 18.000 especies nuevas, pero desaparecen 20.000 más. Disponible en <https://www.france24.com/es/20180529-medio-ambiente-biodiversidad-especies-extincion>
- Fukamachi, K., Imada, T., Ohshima, Y., Xu J. y Tsuda, H. 2008. Purple corn color suppresses Rasprotein level and inhibits 7,12-dimethylbenz [a] anthracene-induced mammary carcinogenesis in the rat, en *Cancer Sci.* 99: 1841–1846
- Galindo, L. M., Alatorre, J.E. y Reyes, O. (2015a). Adaptación al cambio climático a través de la elección de cultivos en Perú, en *El Trimestre Económico*, LXXXII (1 327): 489-519.

- Gay, C.; Estrada, F.; Conde, C. y Eakin, H. (2004). Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México), en *el clima entre el mar y la montaña*. García, C. J. C.; Liaño, C. D.; P. Fernández de Arróyabe, H. C.; Garmendia, P. y Rasilla, A. D. (eds.). Asoc. Esp. Climatol. y Univ. de Cantabria. Serie A. Núm. 4.
- Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., ... Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (3): 572–597. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jame.20038>
- Giorgi, F. y Mearns, L. O. (2003). Probability of regional climate change based on the Reliability Ensemble Averaging (REA) method, en *Geophysical Research Letters*, 30 (12): 2–5. Disponible en <https://doi.org/10.1029/2003GL017130>
- Global Footprint Network. (2019). Cuestas Nacionales de Huellas 2019. Disponible en <https://www.overshootday.org/newsroom/press-release-june-2019-spanish/>
- Gómez, H. R. y Courtes, V. (1987). Un pectoral olmeca de La Encrucijada, Tabasco. Observaciones sobre piezas menores olmecas, en *Arqueología*, 1:73-88
- Gómez, Marcelo M. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. Córdoba, Argentina: Edit. Brujas.
- Gómez, Martín. (1982). El aborigen y el maíz, Cxchuc, Chiapas en María Hope y Luz Pereyra, *Nuestro maíz: treinta monografías populares*. Editado por el Museo Nacional de Culturas Populares, Consejo Nacional de Fomento Educativo, Secretaría de Educación Pública, 2: 11-18.
- González, N. C., Silos, H. E., Estrada, J. C., Chávez, J. M. y Tejero, L. J. (2016). Características y propiedades del maíz (Zea mays L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 669-680. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300669&lng=es&tlng=es.
- Govers, C. (2006). *Performing the Community: Representation, Ritual and Reciprocity in the Totonac Highlands of Mexico*. Berlin: LIT
- Granados, R. R. Y Sarabia, A. A. R. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca, en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3): 435-446
- GreePeace. (2018). Trabajamos en. Consumismo. Plásticos. Datos sobre la producción de plásticos. Disponible en <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Griffies, S. M., Winton, M., Donner, L. J., Horowitz, L. W., Downes, S. M., Farneti, R., ... Zadeh, N. (2011). The GFDL CM3 Coupled Climate Model: Characteristics of the Ocean and Sea Ice Simulations, en *Journal of Climate*, 24 (13): 3520–3544. Disponible en <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3964.1>
- Grinnell, R. M. (1997). *Social work research & evaluation: Quantitative and qualitative approaches* (5a. ed.) Itaca: E. E. Peacock Publishers
- Gujarati, D. N. y Porter, D. C. (2014). *Econometría* (5a.ed.). México: McGraw Hill.

- Hanemann, W. M., y Dale, L. (2006). *Economic Damages from Climate Change: An Assessment of Market Impacts*, Departamento de Agricultura de la Universidad de Berkeley, California.
- Hardy, R., P. Wright, J. Gribbin y J. Kington. 1986. *El libro del clima*, Vol. III. Barcelona: Ediciones Orbis, S.A.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D. (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103(2): 351-370
- Hawkins, E., Ricker, T., Challinor, A., Ferro, C., HO, C., y Osborne, T. (2013). Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s, en *Global Change Biology*, 19(3): 937-947
- Hellin, J.; Erenstein, O.; Beuchelt, T.; Camacho, C. y Flores, D. (2013). Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop-livestock systems in Mexico, en *Field Crops Research*, 153: 12-21, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2013.05.014.
- Hernández, R. A. (2014). Maíces locales con potencial de uso múltiple en un área natural protegida de Chiapas. *Master Thesis*, Universidad Autónoma de Chiapas. México, 156 p.
- Hewitt de A., C. (1978). La modernización de la agricultura mexicana. 1940-1970, México: siglo XXI.
- Hidalgo, M. Y Mora, J.A. (2016). La incidencia del cambio climático en las migraciones y en la seguridad, en *¿y después de la cumbre de París? Tiempo de paz*, 120: 44-56
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., & Lim, G. C. (2011). *Principles of econometrics*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Howden, S. M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M. y Meinke, H. (2007). Adapting Agriculture to Climate Change, en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (50): 19 691-19 696.
- Huan, H., von Lampe, M., von Tongeren, F. (2011). Climate change and trade in agriculture, en *Food Policy* , 36 (1): S9-S13.
- IDEAM. (2010). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá.
- Ilyina, T., Six, K. D., Segschneider, J., Maier-Reimer, E., Li, H. y Núñez-Riboni, I. (2013). Global ocean biogeochemistry model HAMOCC: Model architecture and performance as component of the MPI-Earth system model in different CMIP5 experimental realizations, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (2): 287-315. Disponible en <https://doi.org/10.1029/2012MS000178>
- INECC. (2012). Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. México: INECC - SEMARNAT
- INEGI. (2015^a). Estadísticas a propósito del día mundial del suelo (5 de diciembre): datos nacionales. Aguascalientes, México, 2 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/suelo0.pdf>

- INEGI. (2015b). Conjunto de datos de erosión hídrica del suelo. Escala 1:250 000. INEGI. Aguascalientes, México. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825004223>
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). (2007). *Cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza, 104 pp.
- IPCC. (2007). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Ginebra
- IPCC. (2007a). Informe del Grupo de Trabajo I-Base de las Ciencias Físicas. RT.4 Comprensión y Atribución del Cambio Climático. Geneva: IPCC. Disponible en https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/ tssts-4.html
- IPCC. (2008). Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina. Perú.
- IPCC. (2014). Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso). Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
- Izaurralde, R. C., Thomson, A. M., Morgan, J. A., Fay, P. A., Polley, H. W., y Hatfield, J. L. (2011). Climate impacts on agriculture: implications for forage and rangeland production, en *Agronomy Journal*, 103(2): 371-381
- James, C. (1999). *Global status of commercialized transgenic crops: 1999*, ISAAA, Briefs, no. 12: Preview. ISAAA, NY: Ithaca.
- Jones, C. D., Hughes, J. K., Bellouin, N., Hardiman, S. C., Jones, G. S., Knight, J., ... Laplace, I. P. (2011). Model Development The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations, 543–570. Disponible en <https://doi.org/10.5194/gmd-4-543-2011>
- Jones, H. P., Hole, D.G. y Zavaleta, E.S. (2012). Harnessing Nature to Help People Adapt to Climate Change, en *Nature Climate Change*, 2 (7): 504-509
- Jones, R. G., Murphy, J. M., Noguer, M. y Keen, A. B. (1997). Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbón dioxide, en *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 123: 265-292
- Jungclaus, J. H., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., ... Storch, J. S. (2013). Characteristics of the ocean simulations in the Max Planck Institute Ocean Model (MPIOM) the ocean component of the MPI-Earth system model, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (2): 422–446. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jame.20023>

- Jungclaus, J. H., Keenlyside, N., Botzet, M., Haak, H., Luo, J.-J., Latif, M., ... Roeckner, E. (2006). Ocean Circulation and Tropical Variability in the Coupled Model ECHAM5/MPI-OM, en *Journal of Climate*, 19 (16): 3952–3972. Disponible en <https://doi.org/10.1175/JCLI3827.1>
- Kabubo-Mariara, J., y Karanja, F.K. (2007). The Economic Impact of Climate Change on Kenyan Crop Agriculture: A Ricardian Approach, en *Global and Planetary Change*, 57 (3): 319-330
- Kane, S., Reilly, J. y Tobey, J. (1992). An Empirical Study of the Economic Effects of Climate Change on World Agriculture, en *Climatic Change*, 21 (1): 17-35
- Kates, R. W., Travis, W.R. y Wilbanks, T.J. (2012). Transformational Adaptation when Incremental Adaptations to Climate Change are Insufficient, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109 (19): 7156-7161
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos, R. A. Bye. (2009). *Origen y diversificación del maíz*. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, p. 116.
- Khalili, M.; Naghavi, M. R.; Aboughadareh, A. P. y Rad, H. N. (2013). Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize cultivars (*Zea mays* L.), en *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (4): 809–812, ISSN 2051-1914.
- Kumar, S., Aggarwal, P., Rani, S., Jain, S., Saxena, R., y Chauhan, N. (2011). Impact of climate change on crop productivity in Western Ghats, Coastal and Northeastern Regions of India, en *Current Science*, 101 (3): 332-341
- Kurukulasuriya, P. y Rosenthal, S. (2013). Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts
- Labraga, J.C. (1997). The climate change in South America due to a doubling in the CO₂ concentration: intercomparison of general circulation model equilibrium experiments. *Int. J. Climatol.*, 17: 377-398
- Ladrón de Guevara, Laureano (1997). Metodología de la Investigación Científica. Bogotá, Colombia: Editorial Usta.
- Larkins, A; Dannehofer, F; Bostwick, O; Moro, A; Lopez, MA. (1994). Opaque 2 modifiers, what they are and how they work. In: Quality protein maize. 1964-1994. Proc. of the international symposium on quality protein maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. p. 133-148.
- Lobell, D. B., Schlenker, W. y Costa, J. R. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333: 616–620
- Lobell, D. B. y Burke, M.B. (2010). On the Use of Statistical Models to Predict Crop Yield Responses to Climate Change, en *Agricultural and Forest Meteorology*, 150 (11): 1443-1452.
- Lobell, D. B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. y Naylor, R.L. (2008). Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030, en *Science*, 319 (5863): 607-610

- Lobell, D., Burke, M., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., y Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030, en *Science*, 319 (5863): 607-610, 1 February
- Lobell, D. B. y Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology* 160: 1686-1697. Disponible en: <https://doi.org/10.1104/pp.112.208298>
- López Salazar, R. (2015). Pobreza alimentaria, seguridad alimentaria y consumo alimentario: una aproximación para el caso de México. (Spanish), en *Revista Chilena De Economía Y Sociedad*, 9 (1): 29-48
- López, A. J. F., y Hernández, D. C. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83 (332), 459-496. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Lopez, A.J. y Hernadez, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina, en *Trimestre Económico*, 83(4): 459-496
- Lozada, L. M. V. (2004). Usage des espaces et partages alimentaires pour les « tous-saints ». Célébration de la Toussaint dans une communauté totonaque de la Sierra de Puebla. Mémoire de DEA sous la direction de Claudine Vassas, Toulouse, École des hautes études, en *sciences sociales*
- Lucarini, V. y Ragone, F. (2011). Energetics Of Climate Models: Net Energy Balance And Meridional Enthalpy Transport, en *Reviews of Geophysics*, 49 (1), RG1001. Disponible en <https://doi.org/10.1029/2009RG000323>
- Luna, M.; Rodríguez, H. A. M.; Ayala, G. J. O.; Castillo, G. F. y Apolinar, M. C. J. (2012). Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México, en *Revista Fitotecnía Mexicana*, 35 (1): 1-7, ISSN 0187-7380.
- Magaña R., V. (2004). Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, D. F.
- Magaña, V. (2010). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México: INE-UNAM, 89pp.
- Magaña, V. y Caetano, E. (2007). Pronóstico climático estacional regionalizado para la república mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por Estado y por Sector. Informe Final de Proyecto de Investigación. Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM-Instituto Nacional de Ecología (INE). Documento no publicado. D. F., Mexico. 41 p.
- Magrin, G. O., Marengo, J.A., Boulanger, J.P., Buckeridge, M.S., Castellanos, E. y Vicuña, S. (2014). *Central and South America*, en V. R. Barros, C. B. Field, D. J.
- Mann, M. E., Bradlye, R. S. y Hughes, M. K. (1998). Global-scale temperatura patterns and climate forcing over the past six centuries, en *Nature*, 392: 779–787. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/33859>
- Mann, M. E., Bradlye, R. S. y Hughes, M. K. (1999). Northern hemisphere temperaturas during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations,

en *Geophysical Research Letters*, 26: 759–782. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/1999GL900070>

- Martínez, M., Palacios, N., & Ortiz, R. (2009). Caracterización nutricional del grano de 50 accesiones de maíz cubano. (Spanish), en *Cultivos Tropicales*, 30 (2): 80-88
- Massieu Trigo, Yolanda, y Lechuga Montenegro, Jesús (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo, en *Análisis Económico*, XVII (36): 281-303, ISSN: 0185-3937. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413/41303610>
- Mauritsen, T., Stevens, B., Roeckner, E., Crueger, T., Esch, M., Giorgetta, M., ... Tomassini, L. (2012). Tuning the climate of a global model, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 4 (3), n/a-n/a. Disponible en <https://doi.org/10.1029/2012MS000154>
- McCarl, B. A. (2010). Analysis of Climate Change Implications for Agriculture and Forestry: An Interdisciplinary Effort, en *Climatic Change*, 100 (1): 119-124
- Meade, J. (1948). *Iziz Centli (El Maíz). Origen y mitología. Ilustraciones de códices y monumentos*. México: Talleres Gráficos de la Nación
- Medellín, A. Z. (1960). Monolitos inéditos olmecas, en *La palabra y el Hombre*, 4 (16): 75-97
- Mendelsohn, R. (2009). The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries, en *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1 (1): 5-19
- Méndez, A. Carlos E. (1999). *Metodología: Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Merlone, A., et al. (2019). Temperature extreme records: World Meteorological Organization metrological and meteorological evaluation of the 54.0°C observations in Mitribah, Kuwait and Turbat, Pakistan in 2016/2017, en *International Journal of Climatology*, 39 (13): 5154-5169
- Miller, A. G. (1973). *The mural paintings of Teotihuacan*. Washington: Dumbarton Oaks
- Miller, N. B. y Falk, R. F. (1992). *A Primer for Soft Modeling*. University of Akron Press.
- Montero, M. J., y J. L., Pérez. 2008. Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. In: P. Martínez, y A. Aguilar (eds). *Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor. pp: 11-21.
- Montes, C. y Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano, en *Ecosistemas*, 16 (3): 134-144, ISSN 1132-6344. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=540/54016314>
- Morris, L; López, MA. (2000). *Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997*. México D.F. CIMMYT 45 p.

- Muñoz, T. F.; Guerrero, R. J. de D.; López, P. A.; Gil, M. A.; López, S. H.; Ortiz, T. E.; Hernández, G. J. A.; Taboada, G. O.; Vargas, L. S. y Valadez, R. M. (2013). Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres- Serdán, Puebla, México, en *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4 (4): 515-530, ISSN 2007-1124.
- Naciones Unidas. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Disponible en: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf
- Naranjo, M., Hernández, T., Heredia, H., Gallego, L. y Suárez, B. (2013). Cambio Climático y Políticas para enfrentarlo, en *Revista de Facultad de Medicina, Universidad de Los Andes*, 22 (2): 113-118
- Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2017). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10 (1), 7-31. Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711>
- Norman, V. G. (1973). *Izapa sculpture*. Provo: Brigham Young University
- OCDE. (2009). *The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012*. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- Ojeda-Bustamante, Waldo, Sifuentes-Ibarra, Ernesto, Íñiguez-Covarrubias, Mauro, y Montero-Martínez, Martín J.. (2011). Climate change impact on crop development and water requirements, en *Agrociencia*, 45 (1): 1-11, Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000100001&lng=es&tlng=en.
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., y Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos, en *Agrociencia*, 45 (1): 1-11
- Olabe, A. (2016). Geopolítica del cambio climático. Los grandes emisores tras el Acuerdo de París, en *¿y después de la cumbre de parís? Tiempo de paz*, 120: 16-23
- OMM. (2017). Inicio. Media. Comunicado de prensa. El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero alcanza un nuevo récord. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-aumento-de-la-concentración-de-gases-de-efecto-invernadero-alcanza-un>
- OMM. (2020). Home. Content. World Meteorological Organization Global Weather & Climate Extremes Archive. Disponible en: <https://wmo.asu.edu/content/world-meteorological-organization-global-weather-climate-extremes-archive>
- Orozco, Guillermo G.(1997). La investigación en comunicación desde la perspectiva cuálitativa. México: Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (IMEC).
- Ortiz, T. E.; López, P. A.; Gil, M. A.; Guerrero, R. J. de D.; López, S. H.; Taboada, G. O. R.; Hernández, G. J. A. y Valadez, R. M. (2013). Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla, en *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 19 (2): 225-238, ISSN 1027-152X, DOI 10.5154/r.rchsh.2012.02.006.

- Paliwal, R. L. (2001). Usos del maíz. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Roma: FAO
- Pardinás, Felipe (2005). *Metodología y técnicas de investigación en ciencias sociales*. Trigésimo octava edición. México: Siglo XXI editores.
- Park, S. E., Marshall, N.A., Jakku, E., Dowd, A.M., Howden, S.M., Mendham, E. y Fleming, A. (2012). Informing Adaptation Responses to Climate Change Through Theories of Transformation, en *Global Environmental Change*, 22 (1): 115-126.
- Parlamento Europeo. (2010). La agricultura de la UE y el cambio climático. Resolución del parlamento Europeo, de 5 de mayo de 2010, sobre la agricultura de la UE y el cambio climático (2009/2157(INI)). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 5 de mayo.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios, en *Global Environmental Change*, 14 (1): 53-67.
- Pérez, M. (2001). Habrá pérdida de 30 mil empleos si no se produce maíz amarillo en México, en *La Jornada*, sección política, 18 de octubre, p. 26.
- PNUD y ONU Medio Ambiente. (2018). Índice de Vulnerabilidad ante Choques Climáticos: Lecciones aprendidas y sistematización del proceso y aplicación del IVACC – República Dominicana. Ciudad de Panamá: Panamá. Disponible en: https://www.do.undp.org/content/dominican_republic/es/home/library/environment_energy/indice-de-vulnerabilidad-ante-choques-climaticos.html
- PNUD. (2000). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Panorama del impacto ambiental de los recientes desastres naturales en América Latina y el Caribe. Lima.
- PNUD. (2007). *Informe sobre Desarrollo Humano 2007/2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cambio climático y Desarrollo. Grupo Mundi Prensa.
- Ponce, R., Blanco, M. y Giupponi, C. (2014). The Economic Impacts of Climate Change on the Chilean Agricultural Sector: A non-linear Agricultural Supply Model, en *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74 (4): 404-412
- Popper, K.R. (1992). *The logic of scientific discovery*. Nueva York: Routledge
- Rachelle, M., Esperance, D., Rachad, S., Richard, G. y Nicolas, L. (2014). Multiple optimizations of chemical and textural properties of roasted expanded purple maize using response surface methodology. *Journal of Cereal Science* 60: 397-405.
- Ramos, V. H., Castro, S., López, J. A., Briones, F., y Huerta, J. (2009). Impacto del estrés hídrico y la temperatura alta sobre plantas cultivadas: el caso del maíz (*Zea mays* L.), en *Tamaulipas. Revista Digital Universitaria*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2009. Disponible en: <http://www.turevista.uat.edu.mx>.
- Reick, C. H., Raddatz, T., Brovkin, V. y Gayler, V. (2013). Representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (3): 459–482. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jame.20022>
- Reynolds, P. D. (1986). *A primer in theory construction*. Nueva York: McMillan.

- Rodríguez Larramendi, L., Guevara Hernández, F., Ovando Cruz, J., Marto González, J. R., & Ortiz Pérez, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región frailesca de Chiapas, México. (Spanish), en *Cultivos Tropicales*, 37(3): 137-145, doi:10.13140/RG.2.1.1404.6967
- Rogers, G. y Bouey, E. (2005). Participant observation. En R. M. Grinnell y Y. A. Unrau (Eds.). *Social work: Research and evaluation. Quantitative and qualitative approaches* (7a. ed., pp. 231-244)
- Ruiz Corral, José Ariel, Medina García, Guillermo, Ramírez Díaz, José Luis, Flores López, Hugo Ernesto, Ramírez Ojeda, Gabriela, Manríquez Olmos, José Damián, Zarazúa Villaseñor, Patricia, González Eguarte, Diego Raymundo, Díaz Padilla, Gabriel, & Mora Orozco, Celia de la. (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe2), 309-323. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800011&lng=es&tlng=es.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Manríquez, O. J. D. y Ramírez, D. J. L. 2010. Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático. INIFAP-INE. Guadalajara, Jalisco, Méx Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: mitigation of climate change. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B.; Davidson, O.; Bosch, P.; Dave, R. and Meyer, L. (eds.). Cambridge University Press, UK. and USA. 851 p.
- Ruiz, J., Medina, G., Ramírez, J., Flores, H., Ramírez, G., Manríquez, J. et al. (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México, en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (2): 309-323
- Sabino, Carlos. (1992). *El proceso de la investigación*. Caracas, Venezuela: Editorial Panapo.
- SAGARPA-SIAP. (2018). Boletín mensual, Balanza disponibilidad-consumo. Septiembre 2018. Disponible en: <https://bit.ly/2Rct8XA>
- SAGARPA. (2008). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. (en línea). Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. SAGARPA, subsecretaría de agricultura. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf
- SAGARPA. (2018). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Sahagún, B. (1999). *Historia General de las cosas de Nueva España*. México: Porrúa-Colección Sepan Cuantos

- Salinas, Y., García, C., Coutiño, B. y Vidal, V. (2013). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 285 -294.
- Sánchez, C.A. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud publica del Perú, en *Rev Perú Med Exp Salud Publica*, 33 (1): 128-138
- Sánchez, I., Inzunza, M., Catalán, E., González, J., González, G., y Velásquez, M. (2012). Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,3(4): 805-811
- Sanchez, J. J. (2005). Análisis de contenido cuantitativo de medios. En M. R. Berganza y J. A. Ruiz (Eds.). *Investigar en comunicación* Madrid: McGraw-Hill/Interamericana (pp. 207-228)
- Sansano, C. A. (2008). *Cereales: estructura y composición nutricional*. Universidad de Alicante
- Sarmiento, B., & Castañeda, Y. (2011). Políticas públicas dirigidas a la preservación de variedades nativas de maíz en México ante la biotecnología agrícola. El caso del maíz cacahuacintle. (Spanish), en *Cotidiano - Revista De La Realidad Mexicana*, (167): 101-110
- Schellhas, P. (1904). Representation of deities of de Maya manuscripts. Cambridge: Harvard University
- Schlenker, W. y Roberts, M. (2008). *Estimating the impact of climate change on crop yields: the importance of nonlinear temperature effects*. Working Paper 13799, National Bureau of Economic Research, Cambridge. 2008. Disponible en: <http://www.nber.org/papers/w13799>.
- Schlenker, W. y Roberts, M.J. (2009). Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to US Crop Yields under Climate Change, en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (37): 15594-15598
- Schlenker, W., Hanemann, W.M. y Fisher, A.C. (2005). Will US Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach, en *American Economic Review*, 95 (1): 395-406
- Schneck, R., Reick Christian, H. y Raddatz, T. (2013). Land contribution to natural CO2 variability on time scales of centuries, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (2): 354–365. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jame.20029>
- SEMARNAT-CP. (2003). Memoria Nacional 2001-2002. Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. Memoria Nacional
- Seo, S.N. (2011). An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America, en *Ecological Economics*, 70 (4): 825-834
- Seo, S.N. y Mendelsohn, R. (2008a). A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on South American Farms, en *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68 (1): 69-79

- Serratos J.A. (1998). El maíz transgénico en México, en *Los vegetales transgénicos, el ambiente y la salud*, Suplemento *La Jornada Ecológica*, año 6, núm. 70.
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas. Producción agrícola. Cierre de la producción agrícola (1980-2018). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas. Producción agrícola. Cierre de la producción agrícola (1980-2018). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas. Producción agrícola. Cierre de la producción agrícola (1980-2018). Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sierra-Macías, M., Palafox-Caballero, A., Vázquez-Carrillo, G., Rodríguez-Montalvo, F., & Espinosa-Calderón, A. (2010). Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano, en *Agronomía Mesoamericana*, 21 (1): 21-29
- Sindhu, J. S. (2011). Potential impacts of climate change on agriculture, en *Indian Journal of Science and Technology*, 4 (3): 348- 353
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Información del sector agroalimentario 2010: maíz. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. 2da edición, 2010. D. F., México. 62-63 pp.
- SIWI (Stockholm International Water Institute). (2004). IWMI (International Water Management Institute). Water - more nutrition per drop. Towards sustainable food production and consumption patterns in a rapidly changing world. Suecia: Stockholm International Water Institute.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R.J. y Wandel, J. (2000). An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability, en *Climatic Change*, 45 (1): 223-251
- SMN. (2019). Sistema Meteorológico Nacional. Climatología. Temperaturas y lluvias. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Disponible en: <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- SNIIM. (2019). Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Mercados nacionales. Precios de mercado. Mercados agrícolas. Granos básicos. Disponible en: <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=Consultas/MercadosNacionales/PreciosDeMercado/Agricolas/ConsultaGranos.aspx?SubOpcion=6|0>
- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change*. Londres: Cambridge University Press.
- Stevens, B., Giorgetta, M., Esch, M., Mauritsen, T., Crueger, T., Rast, S., ... Roeckner, E. (2013). Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6, en *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (2) 146–172. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jame.20015>
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., J. Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. y Midgley, P.M. (eds.) (2013). *IPCC, 2013: Summary*

for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press / Cambridge, Reino Unido / Nueva York.

- Stöckle, C., Nelson, R., Higgins, S., Brunner, J., Grove, G., Boydston, R. (2010). Assessment of Climate Change Impact on Eastern Washington Agriculture, en *Climatic Change*, 102 (1-2): 77-102
- Tamayo y Tamayo, Mario (2004). *El Proceso de la Investigación Científica*. Cuarta Edición. México: Editorial Limusa.
- Tao, F. y Zhang, Z. (2011). Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China, en *Climatic Change*, 105 (3-4): 409-432
- Terrazas, L., I. Nikolskii, S. S. Herrera, M. Castillo y A. A. Exebio. (2010). Alteración de la fertilidad del suelo y vulnerabilidad de maíz y trigo bajo riego debido al cambio climático. *Tecnol. Cs. Agua* 1: 135-150.
- Tierramerica. (2009). *América Latina ante los efectos irreversibles de un planeta más caliente*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Banco Mundial.
- Tinoco, J. A., Gómez, J.D. y Monterroso, A.I. (2010). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México, en *Tierra Latinoamericana* 29: 161-168
- Tinoco, J., Gómez, J., y Monterroso, A. (2011). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el Estado de Jalisco, México, en *Tierra Latinoamericana*, 29 (2): 161-168
- Toharia, M. 1984. *Tiempo y clima*. Colección Temas Clave, Madrid: Salvat Editores. Voituriez, B. 1994. *La atmósfera y el clima*. Barcelona: Colección Conocer la Ciencia. RBA Editores.
- Torres, P., Cruz, J.G. y Acosta, R. (2011). Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático. Agendas de adaptación y sistemas institucionales, en *política y cultura*, 36: 205-232
- Tubiello, F. N., y Rosenzweig, C. (2008). Developing Climate Change Impact Metrics for Agriculture, en *Integrated Assessment*, 8 (1): 165-184
- UNDP (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM). (2007/2008). Human Development Report. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World.
- UNESCO. (2016). Patrimonio cultural inmaterial, ¿Qué es el patrimonio cultural inmaterial? Disponible en: <http://www.unesco.org/culture/ich/es/que-es-el-patrimonio-inmaterial-00003>
- Ureta, C., Martínez, E., Perales, H. R., y Álvarez, E. R. (2012). Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico, en *Global Change Biology*, 18(3): 1073-1082

- Vassas, C. (2001). En Roumanie, l'autre moitié du rite: les cuisinières des morts, en *Revue Clio. Histoire, Femmes et Sociétés*, 14: 93–118
- Velázquez, J. (2002). Agrofenoclimatología. Universidad Autónoma del Estado de México. México, D. F.
- Vergara, W., Rios, A., Galindo, L.M., Gutman, P., Isbell, P., Sluding, P. y Samaniego, J. (2014). El desafío climático y de desarrollo en América Latina y el Caribe: opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D. C.
- Viguera, B., Martínez, M.R., Donatti, C., Harvey, C.A. y Alpízar, F. (2017). Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). 47 páginas. Disponible en: https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-2-impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-centroamerica.pdf
- Vitousek, P.M. (1994), Beyond Global Warming: Ecology and Global Change, en *Ecology*, 75: 1861-1876. doi:10.2307/1941591
- Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., y Mélia, D., Decharme, B., Cassou, C., Sénési, S., ... Chauvin, F. (2013). The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation, en *Climate Dynamics*, 40 (9): 2091–2121. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1259-y>
- Vuorela, S., Kreander, K. Y Karonen, M. (2005). Pjreclinical evaluation of rapeseed, raspberry and pine bark phenolics for health related effects, en *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59: 5922-5931
- Wang, J. y Maza, G. (2002). Inhibitory effects of anthocyanins and other phenolic compounds on nitric oxide producción, en *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 850-857
- Warman, A. (2001). *El campo mexicano en el siglo XX*. México: Fondo de Cultura
- Watson, R. T., Rodhe, H., Oeschger, H. y Siegenthaler, U. (1991). Green house gases and aerosols. In: Houghton J.T., G.J. Jenkins, J.J. Ephraums (eds.) *Climate change, the IPCC scientific assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-40
- Welhausen, E.J., Roberts, L.M., Hernández Xolocotzin, E. (1987). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución, en colaboración con P.C. Mangelsdorf, Xolocotzia, Tomo II. Hernández Xolocotzin (compilador), México: Universidad Autónoma de Chapingo, Subdirección de Centros Regionales, Chapingo.
- Wilkes, G. (1988). Teosinte and the Other Wild Relatives of Maíz. En: *Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of The Global Maíz Germplasm Workshop*. México. D.F. CIMMYT. p. 70-80.
- Wilkes, H. G. y Goodman, M. M. (1995). Mystery and Missing Links: The origen of Maíz. En: *Maíz Genetics Resources*. Taba, S (Eds.). Maíz Program Special Report. México, D.F: CIMMYT.

- Wooldridge, J. M. (2015). Introducción a la econometría: Un enfoque moderno / Jeffrey M. Wooldridge (5a ed. --.). México: Cengage Learning.
- Xiong, W., Conway, D., Xu, Y. L., Jinhe, J., JU, H., y Lin, E. D. (2008). The Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture. In Phase II *National level study: The Impacts of Climate Change on Cereal Production in China*. Final Report.
- Yuan, L., Enli, W., Xiaoguang, Y., y Jing, W. (2010). Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s, en *Global Change Biology*, 16 (8): 2287-2299
- Zarazúa, P. (2011). Evaluación del cambio climático y sus impactos sobre los cultivos de trigo, maíz y agave de la Región Ciénega de Chapala (análisis retrospectivo y análisis prospectivo). *Tesis doctoral*. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara- CUCBA, 188 pp
- Zarazúa, P., Ruiz, J., González, D., Flores, H., y Ron, J. (2011). Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco, en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Esp. Núm. 2, 3

ANEXOS

Para consultar los anexos favor de remitirse al archivo digital.