



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN ECONOMÍA

*El cambio climático y su impacto en la seguridad  
alimentaria en México. Caso de estudio maíz.*

## ENSAYO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
Especialista en Economía Ambiental y Ecológica

PRESENTA:  
Laura Daniela Álvarez Contreras

TUTORA:  
Mtra. Karina Caballero Güendulain

CIUDAD DE MÉXICO, JULIO DE 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Quiero agradecer a mi familia, a Marcela mi madre, quien con sus consejos fue el motor de arranque y mi constante motivación. En especial a mi esposo Juan Antonio, por su paciencia, comprensión y sobre todo por su amor. A mi hermanita Andrea y a mis abuelos Laura y Jesús quienes permanentemente me apoyaron.

Deseo expresar mi agradecimiento a la Mtra. Karina Caballero Güendulain y al Mtro. Carlos Francisco Cruz, por todo el apoyo brindado, por su disponibilidad, generosidad y por compartir su experiencia y amplio conocimiento.

# Resumen

A partir de observar los retos que enfrentan los productores para abastecer la demanda interna de alimentos y la importancia del maíz como cultivo estratégico y como principal fuente de alimento para los mexicanos, el objetivo del trabajo es identificar el impacto que tiene el cambio climático en la seguridad alimentaria en México particularmente en el maíz. Se encontró que el incremento de temperatura en el futuro podrá tener un impacto negativo sobre los rendimientos de la tierra y por ende el precio del maíz podrá incrementar. Lo anterior se observa en los cuatro estados elegidos, pero particularmente en Jalisco, ya que al incrementar la temperatura, el precio aumenta en un 2.70%. Así mismo, los resultados muestran que el incremento de la temperatura en la agricultura podría tener efectos negativos en la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Maíz, cambio climático, calentamiento global, seguridad alimentaria.  
Clasificación JEL: Q11, Q54, Q180.

## Abstract

From observing the challenges faced by producers to supply domestic demand for food and the importance of corn as a strategic crop and as the main source of food for Mexicans, the objective of the work is to identify the impact that climate change has on the food security in Mexico, particularly in corn. It was found that the increase in temperature in the future may have a negative impact on the yield of the land and therefore the price of corn may increase. The above is observed in the four states chosen, but particularly in Jalisco, since the temperature increases, the price increases by 2.70%. Likewise, the results show that the increase in temperature in agriculture could have negative effects on food security.

Keywords: Corn, climate change, global warming, food security.  
JEL Classification: Q11, Q54, Q180.

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Aspectos relevantes en la relación de cambio climático y seguridad alimentaria.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Factores determinantes de la producción de maíz en México ....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Producción .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Precio .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Rendimientos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 Precipitación .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Temperatura .....</b>	<b>21</b>
<b>4.- Evidencia empírica en México .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Planteamiento econométrico .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Estimaciones.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 Escenarios de cambio climático (2014 -2050).....</b>	<b>40</b>
<b>5.- Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
<b>6.- Bibliografía .....</b>	<b>45</b>

# 1. Introducción.

El objetivo principal de este ensayo es determinar la sensibilidad de los precios respecto a variables climáticas, específicamente cambios de temperatura y patrones de precipitación, así como los efectos asociados al cambio climático en la producción de maíz en México.

El maíz, soporte de la economía agrícola del país y sustento de las condiciones de existencia de su población, enfrenta, desde la primera crisis agrícola de principios de los años setenta del siglo veinte, una constante lucha por continuar siendo el grano símbolo de la alimentación nacional y mantener su arraigo donde nació y se domesticó: el territorio que actualmente llamamos México. (Aguilar, 2004: 11)

El maíz es uno de los cultivos más importantes de México, ya que forma parte fundamental en la dieta de los mexicanos, además de estar presente en la elaboración de más de 4 mil productos (almidón, fructosa, aceites, biocombustible y alimento animal) y ocupa poco más de la mitad de la superficie sembrada del país, representando casi una tercera parte del valor de la producción agrícola con poco más de 3 millones de productores de este grano. El maíz en sus diferentes presentaciones forma parte fundamental la canasta básica de México. Su cultivo es el de mayor extensión en toda la república y posee infinidad de variedades. Las principales son:

- Maíz forrajero (amarillo).
- Maíz grano semilla.
- Maíz palomero.
- Maíz grano (blanco).

El maíz grano (blanco) es aquella variedad no sacarina de la cual se busca explotar principalmente el grano, el cual se constituye como el alimento básico de los mexicanos. Por lo mismo, es la variedad de mayor consumo y comercialización, utilizado principalmente para el consumo humano. En el presente trabajo centraremos nuestro análisis en esta variedad.

En el país existen dos ciclos agrícolas, el ciclo otoño-invierno (norte del México) y el ciclo primavera-verano (centro y sur del país) en ambos la manera de sembrar y la tecnología implementada es distinta. La elección de los estados para este ensayo se realizó a partir de las características geográficas y del ciclo agrícola, optando por los siguientes: Sinaloa, Jalisco, Michoacán y Guanajuato.

En años recientes se ha modificado el patrón de producción y consumo de los granos a nivel mundial. Esto en buena medida se debe a un cambio en las condiciones del mercado que los demanda, al incremento de la población que lo consume y a la utilización de granos para la elaboración de biocombustibles. Los factores que determinan la producción son variados, tales como la cantidad y calidad de la tierra, el ciclo agrícola, la tecnificación de la producción, además de incentivos externos, subsidios por parte del gobierno, el precio vigente en el mercado, etc.

La evolución de los precios del maíz en México ha incrementado paulatinamente en los últimos años, específicamente en el año 2011 donde existe el punto más alto debido a una helada registrada en el Noroeste del país; con lo anterior se observa una relación directa entre cambio climático y nivel de precios, es decir, la helada impactó en los precios nacionales del maíz.

Existe una correlación del precio del maíz mexicano con el de Estados Unidos, ya que además de la cercanía entre ambos países, este último, es el principal productor a nivel mundial y México está inserto en una economía global.

El impacto del cambio climático en la agricultura será considerable en el mediano y largo plazo en la mayor parte del planeta; sin embargo, en el corto plazo y en zonas con climas fríos y con disponibilidad de agua, una mayor temperatura podrá generar beneficios a nivel regional.

Para la estimación se utilizó un modelo de mínimos cuadrados, considerando las variables de producción, PIB agrícola, precio nacional, precio de EUA, precipitación, temperatura máxima promedio y rendimiento, para cada uno de los cuatro estados seleccionados.

## **2. Aspectos relevantes en la relación de cambio climático y seguridad alimentaria.**

El cambio climático representa una importante y creciente amenaza para la seguridad alimentaria mundial.

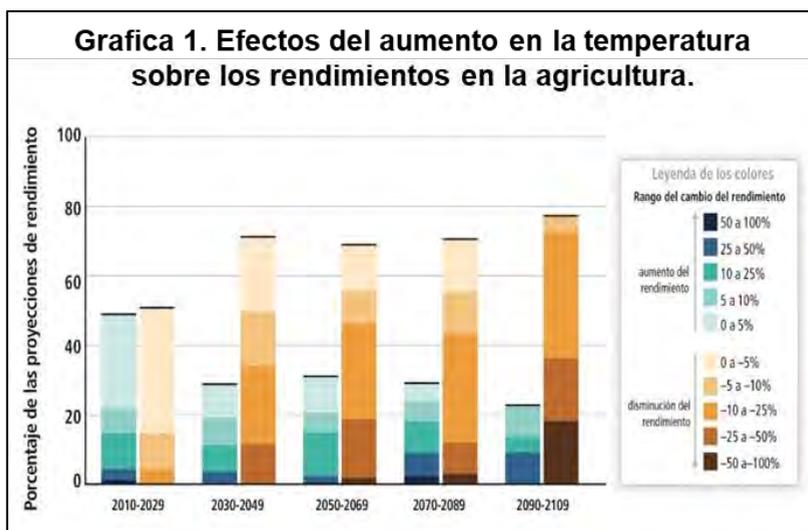
Los efectos previstos del cambio climático - aumento de las temperaturas, mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, escases de agua, elevación del nivel de mar, acidificación de los océanos, degradación de la tierra, perturbación de los ecosistemas y pérdida de la biodiversidad - podrían comprometer seriamente la capacidad de la agricultura para alimentar a los más vulnerables, impidiendo el avance hacia la erradicación del hambre, la mal nutrición y la pobreza (Food and Agriculture Organization [FAO],2016: 4).

Por lo tanto, la Seguridad Alimentaria engloba dos aspectos que pueden resultar afectados por el cambio climático: la disponibilidad de alimentos y su valor nutritivo desde su producción hasta el momento de su consumo; el enfoque del trabajo se centra en el primer punto.

Puede decirse que los cambios climáticos son fenómenos que evolucionan en función de otras variables, por lo tanto, es difícil precisar sus impactos, más no imposible. Para el desarrollo de la investigación se consideraron las siguientes relaciones:

### Relación temperatura - rendimientos

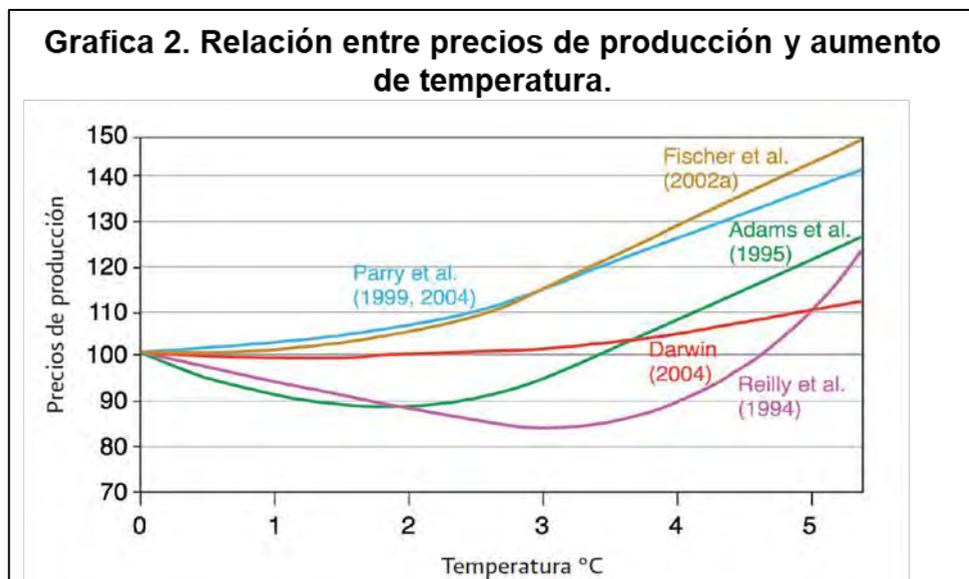
Los rendimientos de diferentes productos agrícolas disminuyen con el incremento en la temperatura; el aumento de la temperatura en el largo plazo tiene efectos diferenciados importantes de acuerdo con las condiciones por país y región.



Fuente: (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2015:74)

“Se prevé que las zonas rurales se enfrenten a grandes impactos en cuanto a la disponibilidad y abastecimiento de agua, la seguridad alimentaria, la infraestructura y los ingresos agrícolas, incluidos cambios en las zonas de cultivos alimentarios y no alimentarios en todo el mundo” (IPCC,2015:74).

Dicho lo anterior, los factores climáticos pueden repercutir en la tendencia de los niveles de producción y estos a su vez en la productividad, dando como resultado una variación en los rendimientos mismos que impactarán el nivel de precios (Grafica 2).



Fuente: IPCC, 2007:61)

Al considerar una demanda creciente de alimentos e insumos, y una reducción parcial en la oferta de alimentos debido al cambio climático, ocasionará un aumento de los precios agrícolas, con potenciales efectos negativos sobre la seguridad alimentaria.

## **Relación producción – precipitación**

La agricultura es una de las principales actividades que más demanda agua en todo el mundo, y su competitividad depende de que pueda disponer de este recurso en forma oportuna para el desarrollo de los cultivos, el ganado y los árboles. “Estimaciones frecuentes muestran que durante el 1980 y 2008 hubo un descenso de 3.8% en la producción de maíz a escala mundial debido al cambio climático” (Lobell, Schlenker y Costa-Roberts 2011).

La escasez de agua producida por el cambio climático, sumado a una creciente demanda de agua para riego, para la industria, para la producción de energía hidroeléctrica y para otros usos por parte del hombre, exacerbará la competencia por este recurso entre los diversos sectores.

La disminución de los niveles de aguas subterráneas y los costos crecientes de energía que demanda su extracción producirán un aumento en los costos de la actividad agropecuaria.

## **Plagas y enfermedades**

La presencia de numerosos insectos y ácaros perjudiciales para los cultivos podría ir en aumento, con motivo de las crecientes temperaturas y las mayores concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. “El CO<sub>2</sub> y el cambio climático pueden tener no sólo una forma directa, sino también un efecto indirecto sobre los rendimientos de los cultivos de plantas a través de la interrupción de la dinámica de las plagas, específicamente cambios en los agentes patógenos, insectos y malas hierbas.” (Mendelsohn y Dinar 2009:16).

Si bien las condiciones climáticas extremas (por ejemplo, la sequía e inundación), tienen un impacto en los microorganismos directamente, sus efectos sobre el estrés de las plantas huésped, es también motivo de preocupación.

En general, los cambios proyectados en la temperatura, el agua y los fenómenos meteorológicos extremos pueden influir en la gama de patógenos que atacan y conducir a cambios en los brotes de nuevas y existentes enfermedades de las plantas. Pero, hasta ahora, no hay suficiente información para predecir lo que sucederá (Mendelsohn y Dinar 2009:17).

Al igual que con la temperatura, los cambios proyectados en las precipitaciones extremas son propensos a cambiar la ocurrencia y frecuencia de los brotes de insectos.

### **Efecto fertilizante de CO<sub>2</sub>**

El aumento de CO<sub>2</sub> en la agricultura, tiene un impacto positivo sobre la producción y los rendimientos del sector agropecuario al menos dentro de ciertos rangos.

El aumento de CO<sub>2</sub> estimula el crecimiento el follaje en países áridos, lo que puede ser una buena noticia para sectores productivos como el agrícola y el forestal.

La aplicación del modelo Ricardiano a un escenario de calentamiento global muestra un impacto significativamente más bajo previsto de calentamiento global en la agricultura que el enfoque tradicional de una función de producción, en este caso, sugiere que, incluso sin la fertilización por CO<sub>2</sub>, el calentamiento global puede tener beneficios económicos para la agricultura. (Mendelsonhn y Dinar, 2006:54).

## **Eventos extremos**

Entre los fenómenos más significativos que pueden presentarse como consecuencia del cambio climático se encuentran inundaciones, sequías, heladas, olas de calor, tormentas de granizo y huracanes; lo anterior arroja cambios en los patrones de precipitación y disponibilidad de agua que afectan directamente los rendimientos del maíz.

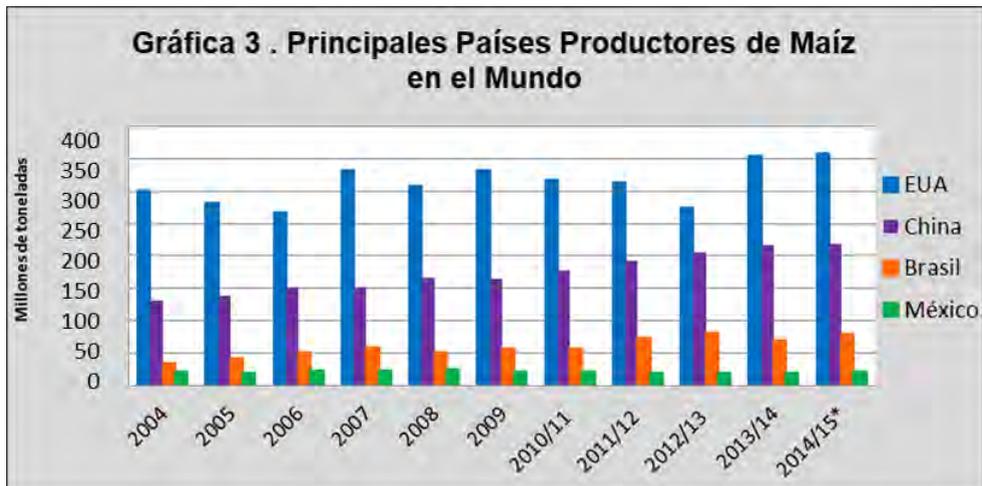
# **3. Factores determinantes de la producción de maíz en México**

## **3.1 Producción**

Mundialmente y de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la estimación de cosecha de maíz para el ciclo 2014/2015 es de 991.92 millones de toneladas (Gráfica 3). Actualmente el 67% se concentra en los tres principales productores, Estados Unidos 37%, China 22% y Brasil 8%. México ocupa el séptimo lugar de la producción mundial con 2%.

La tendencia mundial de los últimos años ha sido alcista debido a un incremento en la precipitación en algunas partes del mundo.

Estados Unidos es el gran líder de producción a nivel mundial, privilegiado por su posición geográfica, perfectos agricultores y grandes incentivos gubernamentales.



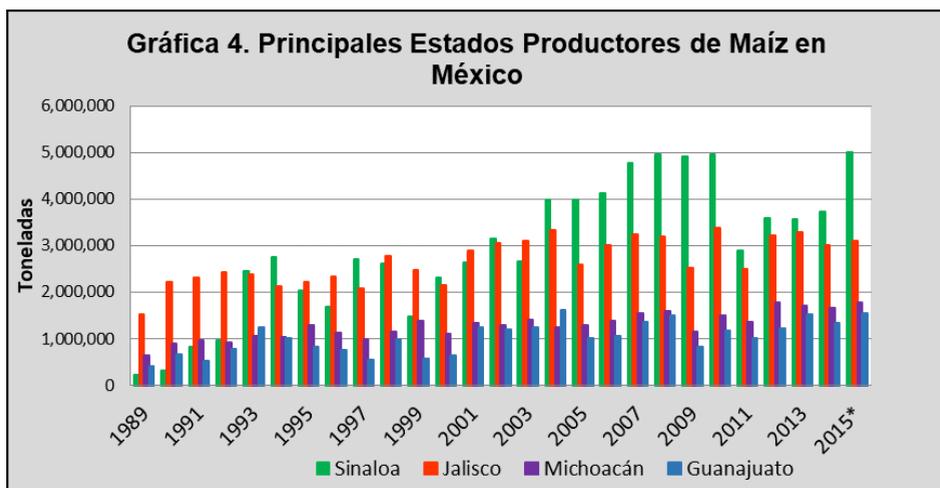
Fuente: Elaboración propia con base en datos de USDA.

En términos de producción nacional (Gráfica 4) el historial de cada estado ha tenido muchas disparidades. Michoacán y Guanajuato por su parte han mostrado una evolución muy similar, presentando una caída en la producción en el año 2009 que se repite en el 2011. Jalisco, con una producción notablemente superior sufre también variaciones importantes.

“El principal estado productor de maíz en México se vio afectado por las heladas atípicas registradas en el mes de febrero de 2011” (Secretaría de Economía [SE], 2012:17).

Este acontecimiento puso en peligro la seguridad alimentaria nacional, ya que fue necesaria la importación de maíz de Sudáfrica y por ende los precios en Sinaloa incrementaron cerca del 63 por ciento. “México compro maíz de Sudáfrica, habían buscado comprarlo del Mar Negro, pero el precio era muy elevado por problemas logísticos por el congelamiento de invierno. El maíz de Sudáfrica era más barato que el del Mar Negro” (Reuters, 2012)

El caso atípico de Sinaloa resalta por las fuertes variaciones en su producción, mostrando picos sumamente altos o bajos desde 1994 hasta el 2002. Posteriormente presenta incrementos constantes y sostenidos primero en el 2003 y hasta el 2006, para luego incrementar abruptamente en el 2007 y 2008 y mantenerse hasta el 2011, año en que sufre una pérdida histórica de su producción, con una recuperación lenta al año siguiente y mantenida hasta el 2013.

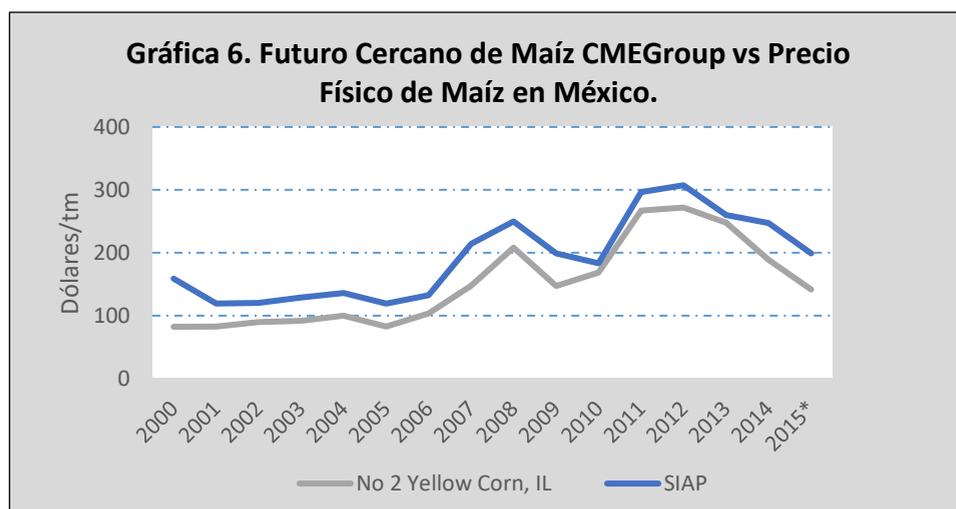


Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIAP.

## 3.2 Precio

A nivel global, entre 2008 y 2009 los precios de los granos alcanzaron su pico más alto en la década, sin embargo, a partir del 2013 los precios registraron una fuerte caída. La fijación del precio de los granos en el mercado internacional está determinada por instituciones financieras que generan referentes de precios para la comercialización de productos agrícolas. Entre estas se encuentran bolsas de valores, mercados físicos o mercados de futuros. La Bolsa de Chicago (CMEGroup) es uno de los principales actores en la fijación de los precios como referencia para las operaciones comerciales en el mercado mundial, debido a que Estados Unidos es el mayor productor de maíz y por ende el que fija los precios.

A nivel internacional los precios de referencia del maíz entregado en físico son el de Chicago o New Orleans. En la grafica 6 se puede observar la correlación del futuro cercano de maíz en EUA y el precio físico de México.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del CMEGroup y SIAP.

## ***Impacto de los precios internacionales en las cosechas nacionales***

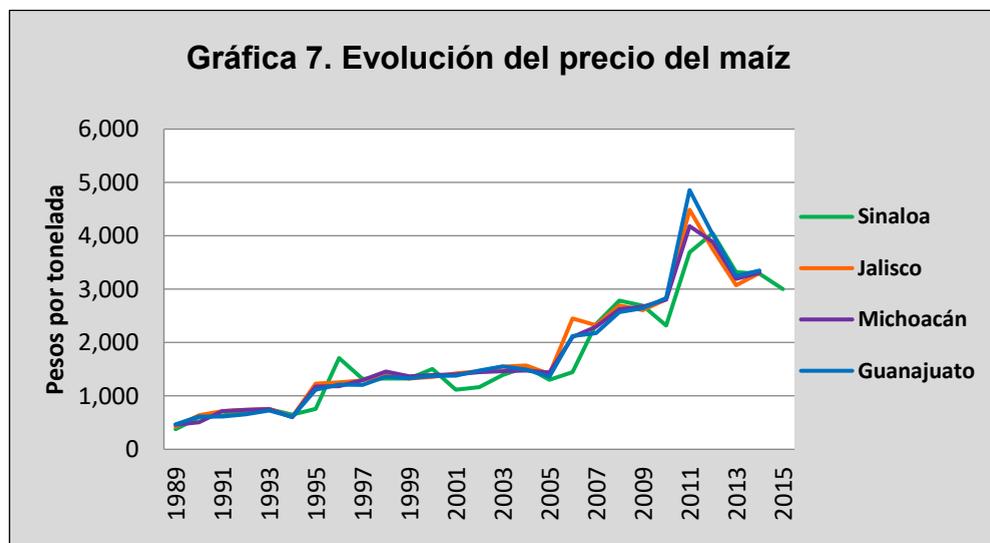
Los precios nacionales se desarrollan en un ambiente de incertidumbre ya que dependen de diferentes factores, como los ciclos de la agricultura, comportamientos atípicos del clima, dependencia financiera y precios internacionales. Al estar México dentro de un contexto de apertura comercial a partir de la década de los noventa, los productores de maíz mexicanos vieron afectados sus ingresos por la saturación del mercado en épocas de cosecha, pues provenían de una economía protegida, un régimen de precios establecido por el Estado y subsidios importantes a la producción que los alejaron del contexto internacional. (Ochoa, 2011a)

En 1991 el Gobierno Federal creó ASERCA, teniendo como una de sus funciones principales el proteger los ingresos de los productores de movimientos adversos en los precios, a través de Agricultura por Contrato (AxC) coberturas con instrumentos de mercados de futuros. Sin embargo, fue hasta 1996, cuando la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) dejó de regular los precios del maíz, que el programa empezó a ser utilizado por los productores para la adquisición de instrumentos bursátiles en el CMEGroup, los cuales tienen como subyacente el maíz amarillo calidad US#2.

“Las coberturas que opera ASERCA involucran una posición en el mercado de futuros opuesta a la que tiene el participante en el mercado spot doméstico; entonces, cualquier pérdida en el mercado spot es compensada con la cobertura en el mercado de futuros” (Ochoa, 2011b:4). Los precios de carácter nacional son influenciados por factores importantes como las cotizaciones de la Bolsa de Chicago (futuro) y la oferta-demanda nacional; es aquí donde pueden influir otros factores como los climáticos, sobre los cuales centramos el análisis del presente ensayo.

Para este ensayo, se usó como referencia los precios de compra nacionales, es decir los vinculados a la Bolsa de Chicago (CMEgroup) ya que los precios regionales no son representativos. De acuerdo con la información disponible, (Gráfica 7) es posible observar un crecimiento acelerado desde 1989 a 1994 de 16% del periodo.

Entre 2003 y 2010 se presenta un nuevo crecimiento de los precios, esta vez más acelerado con pequeñas variaciones entre los estados, sin embargo, en el 2011 hay un repunte significativo de los precios, ocasionado en buena medida por la escasez de oferta generada por la pérdida de la cosecha O-I de Sinaloa debido a una helada.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIAP.

### 3.3 Rendimientos

El rendimiento agrícola es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea. El rendimiento de los cultivos está estrechamente relacionado con el comportamiento de los factores ambientales de todo tipo: climáticos, edáficos, fisiográficos y bióticos, los cuales pueden afectar el rendimiento desde tres puntos de vista, cuantitativo, cualitativo y generativo.

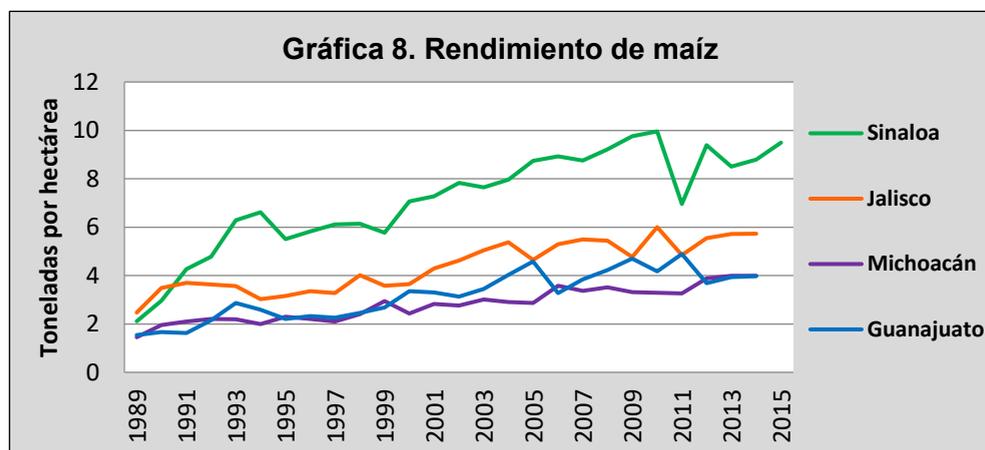
La calidad del rendimiento también es afectada por los factores ambientales, por ejemplo, si se producen altas precipitaciones poco antes o durante la cosecha y dependiendo del cultivo se puede obtener un producto de baja calidad.

Para el caso del maíz, una precipitación excesiva durante el periodo de siembra y germinación puede afectar de manera importante el desarrollo del cultivo, llegando incluso al grado de afectar el rendimiento o perderse por completo.

“Sinaloa está ubicada en la región irrigada de México, un sistema agropecuario que cubre grandes extensiones de tierras áridas en toda la región norte y central del país. La presencia de infraestructura de riego permite un grado relativamente alto de intensificación de la producción” (Banco Mundial [BM], Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 2014: 2). Dicho lo anterior, sin tener las mejores condiciones climáticas, ha desarrollado sistemas de riego en la mayoría de sus campos, lo que le permite tener rendimientos sumamente superiores a la media nacional, ubicándose por arriba de las 9 toneladas por hectárea a partir del año 2008 (Gráfica 8).

Jalisco tiene una particularidad importante, es uno de los estados que presenta las mejores condiciones de suelo y meteorológicas para el cultivo de maíz a gran escala, por lo que, con un desarrollo tecnológico incipiente, su producción se encuentra entre las principales del país. No por nada es el que presenta los mejores rendimientos solo por debajo de Sinaloa.

Para el caso de Michoacán y Guanajuato ambos presentan un crecimiento sostenido en sus rendimientos. Con altas y bajas en diferentes años; en general, han pasado desde 1989 de 1.5 a 3.9 toneladas por hectárea.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIAP.

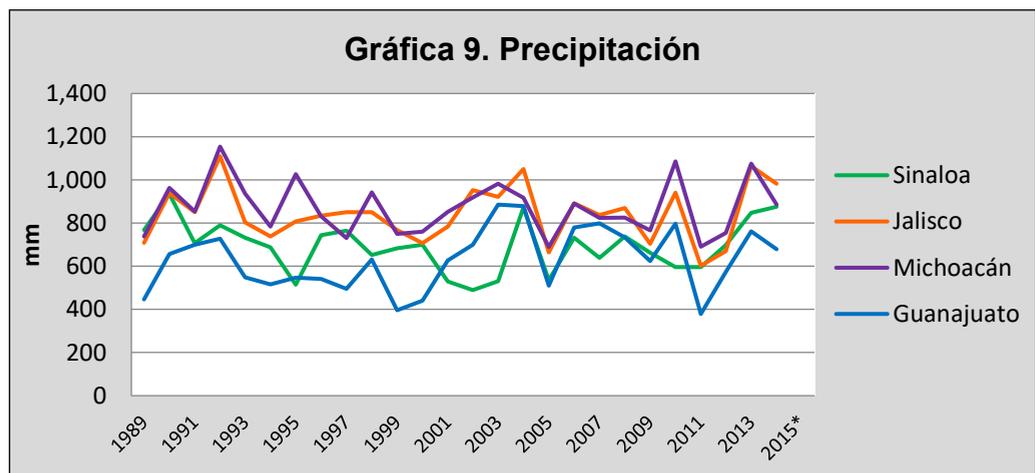
### 3.4 Precipitación

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. Se refiere exclusivamente a formas de precipitación y no de condensación por lo que no se considera neblina ni rocío.

La precipitación pluvial se mide en mm, que sería el espesor de la lámina de agua que se formaría a causa de la precipitación sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno.

En Sinaloa las lluvias se presentan en el verano durante los meses de julio a septiembre, con una precipitación media de 790mm anuales. Jalisco presenta una precipitación total anual media de 850mm; en las zonas costeras la precipitación es de más de 1000 mm anuales. En Michoacán, las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de 850 mm anuales. Guanajuato por su parte presenta lluvias en verano, principalmente en los meses de junio a septiembre y su precipitación media es de aproximadamente 650mm anuales (Gráfica 9).

El impacto sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento de los cultivos alterará los rendimientos debido a que el inicio de la floración se modificará.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIAP.

La precipitación estimada para 2015 en el país es notoriamente similar en las cuatro entidades (mapa 1).

**Mapa 1. Precipitación total en México 2015. (Mm).**



Fuente: Centro de Predicción del Clima NOAA.

### 3.5 Temperatura

La temperatura máxima registrada en un día se da entre las 14:00 y las 16:00 horas. Para el caso de este trabajo utilizaremos los datos de CONAGUA que registran el promedio anual de la temperatura máxima. Por razones geográficas la temperatura promedio en el Norte del país es mayor a la de los otros estados ubicados en la zona centro-occidente del país. (Gráfica 10)

El 48% del estado de Sinaloa presenta clima cálido subhúmedo localizado en una franja noreste-sureste, el 40% es clima seco y semiseco, el 10% es muy seco y el 2% restante es de clima templado subhúmedo principalmente en las partes altas de la Sierra Madre Occidental. La temperatura media anual del estado es alrededor de 25°C.

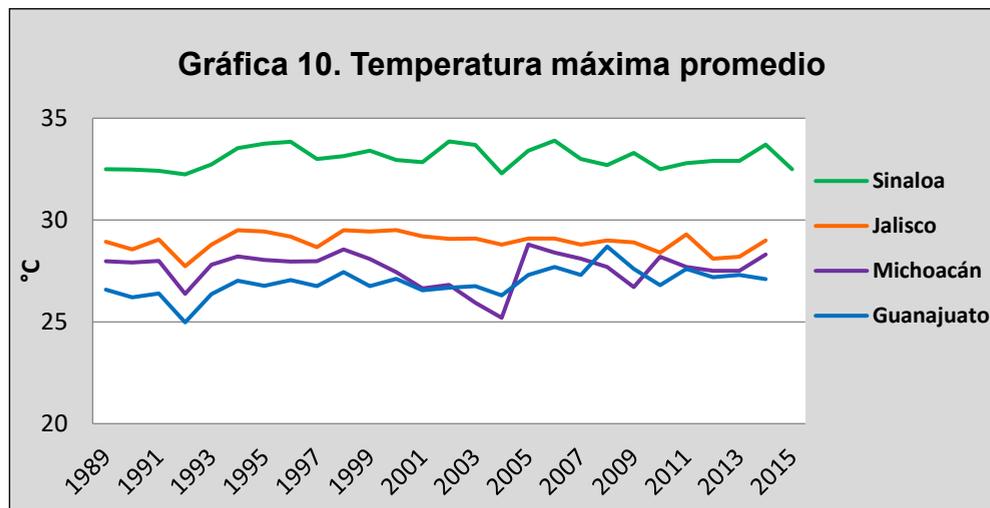
Las temperaturas mínimas promedio son alrededor de 10.5°C en el mes de enero y las máximas promedio pueden ser mayores a 36°C durante los meses de mayo a julio.

Jalisco presenta un clima cálido subhúmedo en el 68% de su superficie, hacia lo largo de la costa y zona centro, en las partes altas de la sierra el 18% es templado subhúmedo y el 14% es seco y semiseco en el norte y noreste del estado. La temperatura anual es de 20.5°C, la temperatura más fría se presenta en el mes de enero cerca de los 7°C y las más altas entre los meses de mayo a septiembre llegando a los 23°C.

En Michoacán, en el 54.5% del estado, el clima es cálido subhúmedo, localizado en la planicie costera del pacífico y Sierra Madre del Sur; el 29% es templado subhúmedo en el eje neo volcánico, 15% seco y semiseco, localizado en las partes bajas y medias de la depresión del Balsas y Tepelcatepec, el 1 % es templado húmedo y el 0.5% cálido húmedo, se presentan regiones altas.

La temperatura media anual es de 20°C; las temperaturas más bajas se presentan en el mes de enero, alrededor de 8°C. La temperatura máxima promedio es de 31°C y se presenta en los meses de abril y mayo.

El 43% de la superficie de Guanajuato está representado por clima seco y semiseco, localizado principalmente en la región norte, 33% de la superficie hacia la parte suroeste y este presenta clima cálido subhúmedo y el 24% restante presenta clima templado subhúmedo. La temperatura media anual es de 18°C. La temperatura promedio más alta es alrededor de 30°C, se presenta en los meses de mayo y junio y la más baja, alrededor de 5.2°C en el mes de enero.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA.

El aumento de la temperatura en el largo plazo tiene efectos diferenciados importantes de acuerdo con las condiciones por región. Las condiciones en que se desarrolla la agricultura en México, tanto de temporal como de riego, determinan también su vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos.

En particular, las prácticas agrícolas de temporal son sensibles a cualquier alteración en la precipitación estacional.

Desde la época de la colonia, el fenómeno de El Niño es un evento climático extremo que ha tenido presencia constante, y al que se le atribuyen la mayoría de las sequías de verano causantes de cuantiosas pérdidas en la producción agrícola. “El aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, como el fenómeno de oscilación austral/El niño, tendrá repercusiones cada vez mayores en las pautas meteorológicas y la producción alimentaria” (FAO,2016:26)

Esta elevada vulnerabilidad denota la importancia de pronosticar mejor los eventos climáticos como El Niño, pues ello conllevaría a medidas que propiciarían una adaptación más oportuna, tales como la adopción de variedades resistentes y elección adecuada de la época de siembra, entre otras, que permitan mitigar sus efectos negativos.

Se ha documentado que el cambio climático trae consigo un incremento notable en la frecuencia y duración de las sequías asociadas a El Niño.

De acuerdo con los pronósticos, en latitudes medias y altas un calentamiento de temperatura moderado beneficiaría los campos agrícolas y de pastoreo; mientras que en regiones secas y de latitudes bajas, a pequeños aumentos en la temperatura, disminuirían las cosechas estacionales. Las pérdidas agrícolas tienen un efecto multiplicador que se traduce en la economía y en una mayor pobreza de las áreas rurales en comparación con las urbanas.

El crecimiento demográfico, unas prácticas agrícolas más intensivas, un mayor uso de la tierra y el aumento de la deforestación, la industrialización y el consiguiente uso de energía procedente de fuentes fósiles han contribuido, a una aceleración de la tasa de aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera desde el inicio de la era industrial. (World Meteorological Organization [WMO], 2017:1)

Las tendencias climáticas han variado en las últimas décadas y se espera que los cambios se intensifiquen en los próximos años. No obstante, los efectos del cambio climático ya son evidentes, por ejemplo, a través de la mayor presencia de eventos climáticos extremos como inundaciones, lluvias torrenciales y sequías, las cuales se han incrementado en los últimos años generando efectos negativos en la producción agropecuaria.

## **4.- Evidencia empírica en México**

En México la seguridad alimentaria depende principalmente de la agricultura del país, y la forma en que aumentó la producción, ha contribuido al deterioro de la calidad de los recursos naturales que impactan en el cambio en el uso del suelo y deforestación. Asimismo, han contribuido al proceso de cambio climático, lo que afecta la estabilidad de la producción.

Dicho lo anterior la agricultura y el cambio climático sufren una afectación mutua incurriendo en un círculo vicioso, donde el sector agrícola contribuye en la emisión de gases de efecto invernadero (14% de las emisiones mundiales) y estas concentraciones a su vez, incidirán en aumentos de temperatura y cambios en los patrones de precipitación que afectan los rendimientos agrícolas. El contexto anterior sugiere una dependencia directa.

La evidencia disponible sugiere que la evolución del sector agropecuario depende del capital invertido, de la combinación de insumos, de los fertilizantes, de la tecnología, de la irrigación, del tipo de administración de riesgos, de los pesticidas, del empleo, del nivel de emisiones de CO2 y de las características del suelo, pero también de los factores climáticos (Galindo,2009).

## 4.1 Planteamiento econométrico

Con datos históricos y actuales de los estados seleccionados, se realiza un modelo econométrico de mínimos cuadrados buscando pronósticos y simulaciones de variables relacionadas con las causas y los impactos del aumento de la temperatura.

Desde la perspectiva de cambio climático, existen modelos utilizados para el análisis del sector agropecuario que pretenden explicar cómo la modificación del clima impactará en los cultivos, por ejemplo:

- **Modelo de función de producción (Fleischer)**

Una función de producción agrícola relaciona la producción (Q) con variables endógenas (P) como trabajo, capital y otros insumos; con variables exógenas (A) que comprenden variables climáticas e irrigación y con las características socioeconómicas de los agricultores (S), entre las que se incluyen variables de capital humano y aspectos sociales del productor (Fleischer, A; Lichtman, I; Mendelsohn, R; 2007). Ésta se determina de la siguiente manera:

Ecuación 1

$$Q_i = f(P_i, S_i, A_i)$$

Donde  $Q_i$  puede representar la producción total en el sector agropecuario, la producción en un subsector o el rendimiento por hectárea de un cultivo determinado.

- **Modelo de tipo Ricardiano**

La hipótesis señala que el valor de la tierra se puede derivar del valor de venta de la tierra que se asocia a su contribución a la productividad. El modelo estima la productividad neta agrícola como función de variables climáticas, económicas y de calidad de suelo con base en información de series de sección cruzada. A saber, la ecuación se determina de la siguiente manera (Mendelson y Dinar, 2006):

*Ecuación 2*

$$R_t = \beta_0 + \beta_1 CLIM_t + \beta_2 CLIM_t^2 + \beta_3 Z_t + \beta_4 G_t + u_t$$

Donde  $R_i$  es el ingreso neto por hectárea,  $CLIM_i$  es el vector de variables climáticas,  $Z_i$  es el vector de variables de suelo y  $G_i$  es el vector de variables económicas.

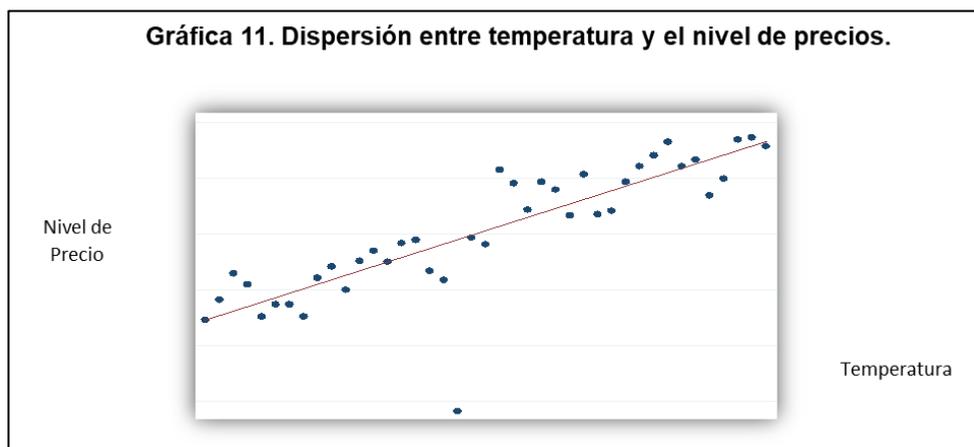
- **Modelo de mínimos cuadrados ordinarios**

Un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) es un modelo lineal de dos variables, o una regresión lineal simple, que se usa para probar hipótesis sobre la relación entre una variable dependiente  $Y$  y una variable independiente  $x$ . Es decir, una relación entre dos variables donde se busca explicar el comportamiento de  $Y$  con base en una variable independiente  $x$ .

En este caso se considera como variable dependiente el nivel de precios Y de los estados analizados (Sinaloa, Jalisco, Guanajuato y Michoacán) y las variables x son incremento en los rendimientos, la temperatura y otras variables asociadas a la producción de maíz. El modelo buscaría probar la hipótesis de que el movimiento de los precios tiene una relación con el nivel de temperatura registrada en cada los diferentes estados.

De manera general, se puede graficar en un diagrama de dispersión los valores de y y x, y así determinar si existe alguna relación lineal. El diagrama de dispersión muestra las variables de temperatura y nivel de precios.

El resultado del gráfico de dispersión son los círculos azules, y la línea recta en color rojo que pasa por los datos es el modelo de MCO que prueba si existe una relación entre ambas variables. Como se puede observar, la relación que capta el modelo de MCO es positiva lo que indica que a mayor nivel de temperatura se tiene un mayor nivel de precios.



Fuente: Elaboración propia.

Es así que el modelo de MCO consiste en generar la función lineal derivada del planteamiento siguiente:

*Ecuación 3*

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$$

El método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) se usa para ajustar la línea recta óptima a las observaciones de  $y$  y  $x$ , para ello, se plantea como la minimización de la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los puntos observados y la línea de la regresión, por lo que la solución consiste en minimizar la siguiente función (Wooldridge, 2010):

*Ecuación 4*

$$\min \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Donde  $Y_i$  se refiere a las observaciones reales, en este caso de precios, y  $\hat{Y}_i$  se refiere a los valores estimados con la regresión, de tal forma que  $Y_i - \hat{Y}_i = e_i$  es el residuo o término de error.

A partir de la definición del término de error, se puede plantear la ecuación de la regresión inicial de la forma:

*Ecuación 5*

$$e_i = Y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)$$

Entonces, la suma de cuadrados de los errores se define como:

*Ecuación 6*

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2$$

Los estimadores de mínimos cuadrados se obtienen minimizando la función anterior, es decir, derivando la función respecto a  $\beta_0$  y a  $\beta_1$  e igualando cada derivada parcial a cero<sup>1</sup>, que son las condiciones de primer orden.

*Ecuación 7*

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial \beta_0} = -2 \sum (Y_i - B_0 - B_1 x_i) = 0$$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial \beta_1} = -2 \sum x_i (Y_i - B_0 - B_1 x_i) = 0$$

Donde  $B_0$  y  $B_1$  son los estimadores de mínimos cuadrados de  $\beta_0$  y  $\beta_1$  respectivamente. Simplificando las ecuaciones tenemos que:

*Ecuación 8*

$$\sum_{i=1}^n Y_i = nB_0 + B_1 \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i Y_i = B_0 \sum_{i=1}^n x_i + B_1 \sum_{i=1}^n x_i^2$$

Estas dos ecuaciones se conocen como ecuaciones normales. Si dividimos ambos miembros de la primera ecuación entre  $n$ , tenemos que:

---

<sup>1</sup> El procedimiento que se sigue es el de multiplicadores de Lagrange ya que se tiene una función a minimizar sujeta a una restricción. El tema se puede revisar en cualquier libro de cálculo, pero para una breve revisión del método se recomienda revisar Haeussler y Richard, 2003: 778-780.

Ecuación 9 
$$\frac{\sum Y_i}{n} = b_0 + b_1 \frac{\sum x_i}{n}$$

Entonces, el estimador “estimado” de  $\beta_0$  es:

Ecuación 10 
$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - b_1 \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{Y} - b_1 \bar{x}$$

Sustituyendo  $b_0$  en la segunda ecuación normal:

Ecuación 11 
$$\sum_{i=1}^n x_i Y_i = \left( \frac{\sum Y_i}{n} - b_1 \frac{\sum x_i}{n} \right) \sum x_i + b_1 \sum x_i^2$$

Resolviendo y simplificando, se obtiene el estimador de  $b_1$ :

Ecuación 12 
$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Este estimador mide la relación entre el nivel de precios y cada una de las variables independientes, por lo que podría considerarse una como medida de sensibilidad de los precios ante cambios en cada una de las variables.

Es importante señalar que el incremento de la temperatura y la precipitación tiene un impacto en los precios del maíz; sin embargo, se espera que el impacto no será directo ya que el precio es afectado por diferentes fallas de mercado como:

- ✓ Externalidades negativas; La problemática de nuestro país es que existen externalidades que afectan el precio y este no refleja en su totalidad las condiciones del mercado. Siempre que existe un fallo del mercado los precios no pueden reflejar los verdaderos costos.

- ✓ Información incompleta y asimétrica; lo cual dificulta que las rentas reflejen el verdadero valor de la tierra.
- ✓ Subsidios: Surgen debido a las externalidades, es decir, el gobierno mexicano se ve obligado a aportar una compensación adicional para nivelar los mercados.

Como lo explicamos en la sección de rendimientos, Jalisco posee condiciones climáticas ideales para la producción de maíz, se distingue por altos niveles de precipitación y niveles moderados de temperatura que lo hacen el líder nacional en rendimientos sin el uso de sistemas de riego como el caso de Sinaloa; además presenta mayor productividad con un desarrollo relativamente bajo de tecnología a diferencia de Michoacán y Guanajuato que cuentan con condiciones tecnológicas similares.

Es así que las estimaciones se plantean de la siguiente manera para cada uno de los estados seleccionados:

*Ecuación 13*

$$P_i = \beta_0 + \beta_1 * temp_t + \beta_2 * temp_t^2 + \beta_3 * Rend_t + \beta_4 * precio_{eu}_t + e_t$$

Donde:

$P_i$ = Precio del maíz por tonelada

$temp_t$ = temperatura en grados centígrados

$temp_t^2$ = temperatura en grados centígrados al cuadrado

$temp_t^2$ = Rendimiento de maíz, toneladas por hectárea

$precio_{eu}_t$ = Precio del maíz por tonelada en Estados Unidos.

## 4.2 Estimaciones

Las estimaciones se realizaron con un Modelo de Mínimos Cuadrados, una regresión simple, para probar una hipótesis sobre la relación entre una variable dependiente “y” y una variable independiente “x” donde la hipótesis fue *El movimiento del precio del maíz en México debido al incremento en la temperatura*, siendo “y” el nivel de precio de maíz de los estados antes mencionados y “x” el aumento en la temperatura. Las variables utilizadas en este ensayo fueron producción, PIB agrícola, precio nacional, precio EUA, precipitación, temperatura máxima promedio y rendimiento.

La estadística descriptiva muestra que a pesar de no tener niveles altos en precipitación y contar con la temperatura más alta, el estado de Sinaloa es el que más produce y el que tiene los precios más bajos debido a la implementación de tecnología. Jalisco cuenta con el nivel de precio más alto. Guanajuato tiene los niveles más bajos de precipitación, temperatura y producción, sin embargo, el nivel de precio es alto.

## Cuadro 1. Estadística Descriptiva

### Guanajuato

Variable	n	Promedio	Desviación estándar	Min.	Max.
Producción	25	1,013,422.74	337,964.34	407,225.00	1,619,554.74
PIB Agrícola	25	17,023.61	1,453.56	14,625.62	19,912.39
Precio	25	1,763.27	1,111.61	467.88	4,857.33
Precipitación	25	629.65	143.37	378.70	885.33
Precio EUA	25	323.23	136.69	198.82	682.33
Temp. Máx. Prom	25	26.94	0.67	24.98	28.70
Rendimiento	25	3.17	0.97	1.54	4.88

### Jalisco

Variable	n	Promedio	Desviación estándar	Min.	Max.
Producción	25	2,600,931.79	597,890.25	1,058,331.38	3,451,487.52
PIB Agrícola	25	34,130.44	5,428.87	26,842.81	45,405.55
Precio	25	1,763.54	1,029.67	422.94	4,488.95
Precipitación	25	841.98	129.68	602.30	1,109.52
Precio EUA	25	323.23	136.69	198.82	682.33
Temp. Máx. Prom	25	28.91	0.47	27.73	29.51
Rendimiento	25	4.32	1.08	2.47	6.43

### Michoacán

Variable	n	Promedio	Desviación estándar	Min.	Max.
Producción	25	1,262,221.58	297,886.57	634,678.00	1,910,907.17
PIB Agrícola	25	25,112.21	4,105.50	18,477.97	32,368.28
Precio	25	1,749.71	1,025.16	463.10	4,180.99
Precipitación	25	870.02	125.89	689.20	1,153.86
Precio EUA	25	323.23	136.69	198.82	682.33
Temp. Máx. Prom	25	27.62	0.87	25.20	28.80
Rendimiento	25	2.80	0.71	1.45	4.16

### Sinaloa

Variable	n	Promedio	Desviación estándar	Min.	Max.
Producción	25	2,678,231.46	1,487,156.08	177,472.00	4,963,195.16
PIB Agrícola	25	22,314.62	3,353.56	16,199.34	28,797.63
Precio	25	1,698.03	1,042.78	364.81	4,048.52
Precipitación	25	692.88	118.51	489.30	934.24
Precio EUA	25	337.85	159.32	200.43	708.64
Temp. Máx. Prom	25	33.07	0.52	32.24	33.90
Rendimiento	25	8.25	1.71	4.49	10.60

## Guanajuato

$$\Delta P_t = -0.018 * \Delta temp_t + 0.0005 * \Delta temp_t^2 + 0.269 * \Delta pEUA_t + 0.393 * \Delta rend_t + 0.158$$

t-stad	(-0.61)	(0.50)	(1.94)	(2.63)	(1.66)
	+ 0.452	+ 0.485	+ 0.292		
	(4.30)	(4.05)	(2.96)		

### Pruebas Diagnostico

R<sup>2</sup>: 0.8224

Normalidad J-B: 0.990 (0.6094)

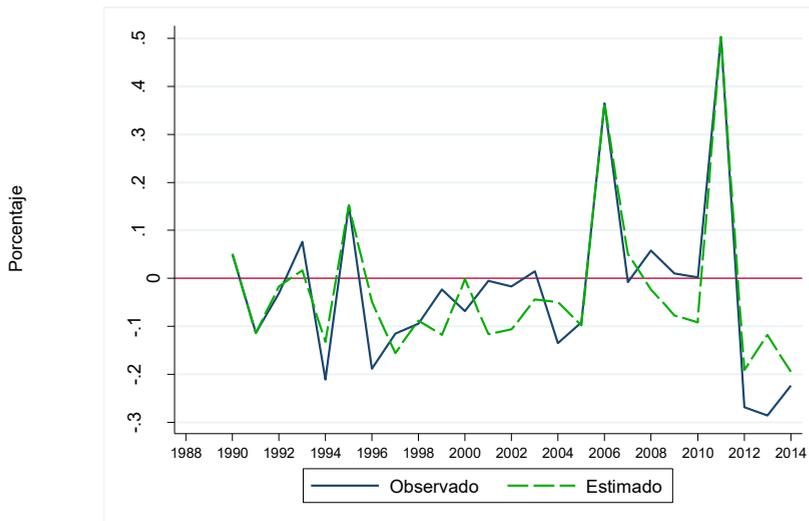
Autocorrelación LM (2 rezagos): 0.353 (0.552)

Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): 14.48 (0.996)

Error Cuadrático Medio: 0.089

Periodo: 1989-2014

Gráfica 12. Guanajuato: valores observados y estimados del precio del maíz, 1989 - 2014



En el caso del estado de Guanajuato, el precio del maíz se explica por la temperatura (-0.018), el precio de Estados Unidos y principalmente por los rendimientos.

Observando una fuerte correlación entre variables es decir por cada incremento en la temperatura el rendimiento incrementará hasta un punto donde este comience a ser decreciente y se verán reflejadas en el precio nacional o internacional.

Se usarón variables dumies para diferentes años 2009, 2011 y 2093 teniendo efectos negativos. Revisando datos historicos observamos una helada en la parte norte del país, está impactó directamente a la cosecha del ciclo otoño invierno pero de manera indirecta repercutió al ciclo primavera-verano; lo anterior dio como resultado una dismunición en la produccìon de maíz para el país y por ende los precios incrementarán sustanciosamente.

#### Jalisco

$$\Delta P_t = -0.103 * \Delta temp_t + 0.003 * \Delta temp_t^2 + -0.305 * \Delta rend_t + 0.665 * \Delta pEUA_t + 0.395$$

t-stad	(-2.39)	(2.39)	(-2.66)	(5.71)	(3.99)
	-0.373	-0.319			
	(-3.79)	(-3.37)			

#### *Pruebas Diagnostico*

R<sup>2</sup>: 0.8008

Normalidad J-B: 0.0962 (0.953)

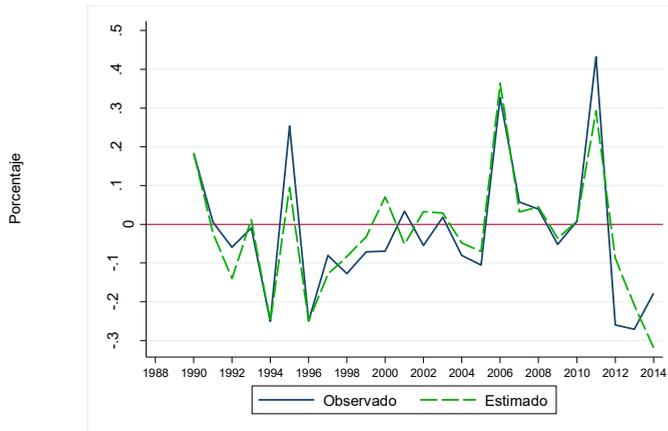
Autocorrelación LM (2 rezagos): 1.890 (0.169)

Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): 30.67 (0.131)

Error Cuadrático Medio: 0.091

Periodo: 1989-2014

Gráfica 13. Jalisco: valores observados y estimados del precio del maíz, 1989 - 2014



En el estado de Jalisco el precio del maíz es explicado por dos puntos importantes el incremento en la temperatura (-.103) y por el movimiento del precio americano (0.665), quizá porque la mayor parte de su cosecha se comercializa mediante el esquema de Agricultura por Contrato; no se debe olvidar que la formación del precio nacional dentro de este esquema gubernamental esta formado por futuros del CMEGroup.

Adicional otras variables independientes como la temperatura y el rendimiento explican menormente el movimiento del precio. Este estado presenta una mayor repercusión del cambio climatico en el precio.

### Michoacán

$$P_t = -0.046 * \Delta temp_t + 0.001 * \Delta temp_t^2 + 0.020 * \Delta rend_t + 0.575 * \Delta pEUA_t + 0.232$$

t-stad	(-1.83)	(1.82)	(0.10)	(4.51)	(2.21)
	-0.278	-0.342			
	(-2.51)	(3.19)			

## Pruebas Diagnostico

R<sup>2</sup>: 0.7180

Normalidad J-B: 0.059 (0.997)

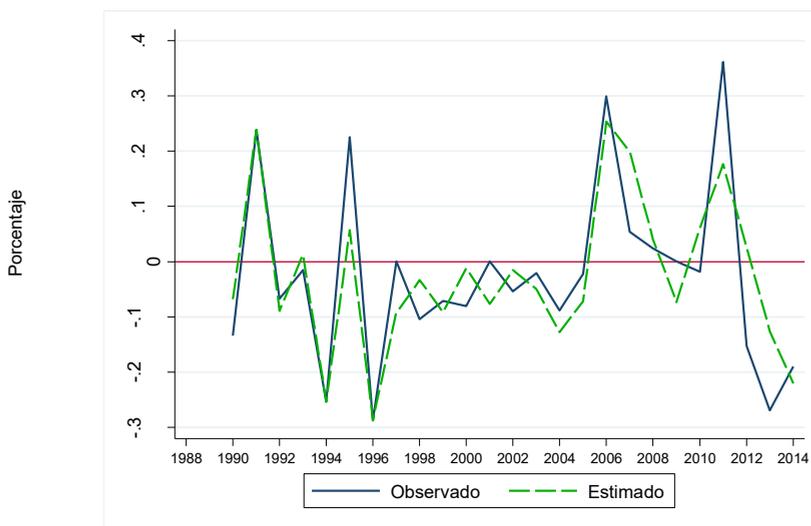
Autocorrelación LM (2 rezagos): 2.667 (0.102)

Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): 21.78 (0.592)

Error Cuadrático Medio: 0.102

Periodo: 1989-2014

Gráfica 14. Michoacán: valores observados y estimados del precio del maíz, 1989 - 2014



Para Michoacán, el precio del maíz se explica por la temperatura (-0.046) , los rendimientos (0.020) y por el precio de Estados Unidos (0.575) siendo este último lo que más lo expone debido principalmente a que la mayor parte de esta cosecha se comercializa mediante el esquema gubernamental de agricultura por contrato. Al comparar este estado con Jalisco el impacto de las variables independientes como la temperatura y el rendimiento explican de una manera menor la variable dependiente sin embargo no sucede lo mismo en Guanajuato.

Las dumies utilizadas para explicar el modelo son de los años 1991,1994 y 1996, muestran ajustes de oferta y demanda mundial durante ese periodo sin embargo no son relevantes.

### Sinaloa

$$P_t = -0.046 * \Delta temp_t + 0.001 * \Delta temp_t^2 + 0.335 * \Delta rend_t + 0.597 * \Delta pEUA_t - 0.370$$

t-stad (-0.71) (0.71) (1.21) (5.22) (-2.15)  
- 0.307

(-1.86)

### Pruebas Diagnostico

R<sup>2</sup>: 0.6564

Normalidad J-B: 0.672 (0.714)

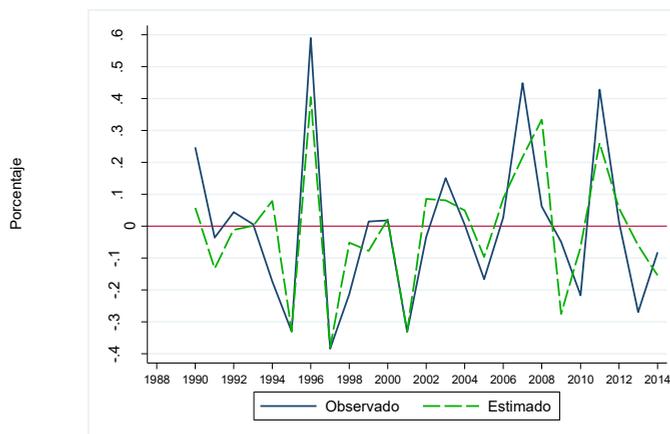
Autocorrelación LM (2 rezagos): 8.484 (0.36)

Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): 19.46 (0.616)

Error Cuadrático Medio: 0.160

Periodo: 1989-2014

Gráfica 14. Sinaloa: valores observados y estimados del precio del maíz, 1989 - 2014



En Sinaloa, principal estado productor de maíz en México, el precio del maíz es explicado principalmente por el movimiento del precio en Estados Unidos (0.597) quizá porque la mayor parte de su cosecha es comercializada mediante el esquema de Agricultura por Contrato, misma que depende de los futuros del CMEGroup. Es sustancial indicar que este estado es el que cuenta con una mayor inversión en tecnología de los cuatro utilizados en este ensayo en los últimos 25 años los rendimientos fueron incrementando de 4.49 ton/ha a 10.60 ton/ha 136% debido a nuevos sistemas de riego.

### **4.3 Escenarios de cambio climático (2014 - 2050)**

La seguridad alimentaria en México está amenazada constantemente por factores climáticos como heladas, lluvias torrenciales o incrementos drásticos en la temperatura.

En este ensayo, se analiza la importancia del maíz en la dieta de los mexicanos, y como la producción y por ende el precio del producto se ven amenazados en el futuro por el cambio climático. La utilidad de esta investigación radica en la profundización del estudio del producto, esto con la finalidad de crear conciencia respecto a la importancia e impacto que el cambio climático tiene en los cultivos, particularmente en el maíz.

#### **Supuestos de los escenarios**

##### **Escenario Base**

- Temperatura máxima promedio constante.
- Rendimiento de maíz constante.
- Precio de maíz en EUA constante.

## Escenario 1

- Temperatura máxima promedio con incremento de 1%.
- Rendimiento de maíz con incremento de 2%.
- Precio de maíz en EUA con incremento de 1%.

**Cuadro 2. Supuestos de los escenarios**

Variable	Promedio histórico 1989-2014	Escenario Base	Escenario 1
Temp. Máx. Prom (C°)	29.13	Constante	+ 1 %
Rendimiento (Ton/Ha)	4.64	Constante	+ 2 %
Precio EUA (dls/tm)	326.88	Constante	+ 1 %

Los escenarios se realizaron a partir de datos históricos (1989 – 2014) de los cuatros estados seleccionados, con los resultados de los modelos de la sección anterior que responden a la hipótesis inicial sobre la relación en el tiempo entre el nivel de precio de maíz y el incremento en rendimiento, temperatura y el nivel de precio de EUA. El escenario base mantiene constantes las variables independientes mientras que el escenario 1 muestra incrementos en las mismas. Existe evidencia de que el incremento en la temperatura empeoraría el actual desequilibrio que hay en la producción de alimentos entre las regiones templadas y frías, y las tropicales y subtropicales, por lo anterior se consideró un incremento de 1 % en temperatura para observar los impactos que este tendría particularmente en el caso del maíz. En la antigüedad el rendimiento dependía de factores inamovibles sin embargo con la implementación de tecnología en la agricultura esto ha cambiado, actualmente un productor debe invertir en tecnología para cubrir su cosecha de inclemencias climáticas durante el proceso presiembra, siembra y cosecha, debido a eso consideramos un 2% de incremento en rendimiento.

En la actualidad la mayor parte de cosecha de maíz del país se comercializa mediante el esquema de agricultura por contrato, misma que utiliza para la formación del precio nacional, el futuro de maíz cercano de la bolsa de Chicago. Por lo anterior se consideró importante incrementar el 1% en este rubro.

La capacidad de los pueblos de producir suficiente alimento para consumo propio y de su ganado, depende de gran medida del clima. Las tendencias climáticas han variado en el tiempo y es imposible predecir eventos en el futuro; lo que es real en el presente son sus efectos como tormentas, inundaciones, heladas o sequías, que afectan la producción agrícola e impactan directamente en los precios de los productos de consumo básico como lo es el maíz.

Los escenarios considerando el cambio climático muestran el incremento de precio del maíz como consecuencia del aumento en la temperatura para el año 2050; en Guanajuato la relación fue de 2.40%, mientras que Sinaloa y Michoacán muestran una menor correlación, el primero de 2.10% y el último de 2.00%, sin embargo, Jalisco proyecta una mayor correlación.

**Cuadro 3. Incrementos en los precios cómo consecuencia del aumento en la temperatura (porcentajes)**

Año	Estado			
	Guanajuato	Jalisco	Michoacán	Sinaloa
2020	0.19	0.25	0.18	0.19
2030	0.74	0.94	0.68	0.73
2040	1.44	1.72	1.26	1.34
2050	2.40	2.70	2.00	2.10

## 5.- Conclusiones

Al llevar a cabo este estudio en donde las variables a relacionar influyen directamente en niveles tan esenciales como lo pueden ser costos, producción, rendimiento y precios, y teniendo como objetivo sensibilizar este último factor con impactos directos en su valoración con relación a eventos climáticos diversos, que al final del día coinciden en incrementos de temperatura, como resultado de la investigación estadística presentada, es posible concluir que el incremento de temperatura en los primeros años brindará un beneficio a la cosecha de maíz, haciéndola más fértil y rica para tales fines, sin embargo los efectos negativos tendrán mayor relevancia al largo plazo, haciéndola improductiva, reacia, con mermas importantes influyendo en un impacto negativo con respecto al precio final.

Uno de los principales factores para que el nivel de precio de maíz incremente, son los climáticos y los estados en los cuales se llevó a cabo el estudio comprueban lo anterior; un ejemplo en específico de ello es el estado de Jalisco, entidad en donde se muestra un mayor impacto, ya que un incremento de temperatura en el futuro muestra efectos negativos sobre los rendimientos de la tierra y su productividad y por ende el nivel de precio de maíz se dispara.

Los resultados indican que Jalisco podría incrementar el precio del maíz en un 2.70% para el 2050 como consecuencia del aumento en la temperatura, es decir, un 12.5% por arriba de su siguiente evaluado (Guanajuato), un 35% más que Michoacán y 28% por arriba que Sinaloa.

La variabilidad del clima puede tener repercusiones extremas en la producción de maíz y hacer que se reduzca drásticamente el rendimiento de

las cosechas; lo anterior obligaría a los productores a utilizar nuevas prácticas agrícolas con nuevos sistemas de riego o semillas genéticamente modificadas para resistir la volatilidad climática; lo anterior repercutirá directamente en la calidad y en el precio del producto.

Hoy por hoy, la relación temperatura-precio será tendenciosa a generar más consecuencias negativas que mínimos beneficios a muchos niveles, pero el mayor efecto negativo se concentrará en los alimentos de la canasta básica, es decir, productos de consumo básico que seguramente pondrá en riesgo la seguridad alimentaria del país y obligada a modificar sus parámetros que permitan seguir manteniéndola.

## 7.- Bibliografía

Aguilar, Oscar (2004). *Las elites del maíz*. México: Promep y CIDHEM.

Banco Mundial; Centro Internacional de Agricultura Tropical; Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2014). *Agricultura climáticamente inteligente en Sinaloa, México. Serie de perfiles nacionales de Agricultura climáticamente inteligente para América Latina. EUA*

Fleischer, Aliza; Lichtman, Ivgenia; Mendelsohn, Robert. (2007). *Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture : Will Warming Be Harmful?*. EUA: World Bank.

Food and Agriculture Organization. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. Italia

Galindo, Luis Miguel. (2009). *La economía del Cambio Climático en México Síntesis*. México: Gobierno Federal SHCP y SEMARNAT.

Haeussler, E. y Richard, P. (2003). *Matemáticas para administración y economía*. EUA: Pearson educación.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008). *Cambio climático 2007 informe de síntesis*. Suiza

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2015). *Cambio climático 2014 Informe de síntesis*. Suiza

Lobell, D.B., Schlenker, W. y Costa Rica-Roberts, J. (2011). *Climate trends and global crop production since 1980*. En Science, 333 (6042), 616-620.

Mendelson, R. y Dinar, A. (2009). *Climate change and agriculture*. UK: MPG books group.

Ochoa, R. (2011a). *Cobertura de precios de productos agropecuarios*. En Claridades Agropecuarias, (220), 4-11.

Ochoa, R. (2011b). *El futuro de los alimentos: de tendencias y cuestiones claves, en un contexto de crisis económica y volatilidad de los precios*. En *Claridades Agropecuarias*, (219), 6-17.

Secretaría de Economía (2012). *Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local*. México

Wooldridge, Jeffrey M. (2010). *Introducción a la econometría, un enfoque moderno*. EUA: Cengage learning.

### **Sitios de internet**

Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (2015). ASERCA *Tablas de precios de coberturas*, <http://www.infoaserca.gob.mx/coberturas/maiz>

Chicago Mercantile Exchange. 2015. CMEGroup *Precios futuros de maíz* <http://www.cmegroup.com/trading/agricultural/grain-and-oilseed/corn.html>,

Reuters (2012). *Sudáfrica vé deficit de maíz por exportación a México*. Recuperado de <https://lta.reuters.com/article/worldNews/idLTASIE82M03W20120323>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2015). SIAP *Datos históricos 1989-2014*, <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Servicio Meteorológico Nacional. 2015. SMN *Datos históricos 1989-2014*, <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>

U.S Department of Agriculture. 2015. USDA *Histórico 1989-2014*, <https://www.usda.gov/topics/data>

World Meteorological Organization (2016). WMO *Boletín de OMM sobre los gases de efecto invernadero*, (13), 1-8. Recuperado de [https://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=4024](https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=4024)