



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

**ECONOMÍA**

**IMPACTO ECONÓMICO DEL CAMBIO  
CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE MAÍZ  
(*Zea Mays L.*) EN LA REGIÓN  
AMECAMECA,  
ESTADO DE MÉXICO**

JOSÉ LUIS JOLALPA BARRERA

T E S I S

DOCTORADO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

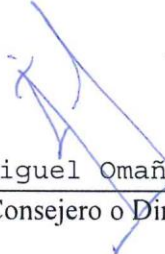
**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe José Luis Jolalpa Barrera, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor José Miguel Omaña Silvestre, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Impacto económico del cambio climático en el cultivo de maíz (Zea Mays L.) en la región de Amecameca, Estado de México y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 3 de Junio de 2019

José Luis Jolalpa B.

Firma del  
Alumno (a)


  
Dr. José Miguel Omaña Silvestre  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: "**Impacto económico del cambio climático en el cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) en la región Amecameca, Estado de México**", realizada por el alumno: **José Luis Jolalpa Barrera**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

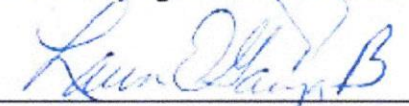
DOCTOR EN CIENCIAS  
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
ECONOMÍA

**CONSEJO PARTICULAR**


CONSEJERO (A)

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Miguel Omaña Silvestre**

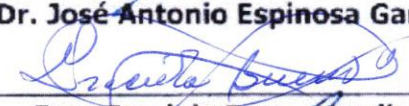
ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Laura Elena Garza Bueno**

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Antonio Espinosa García**

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Graciela Bueno Aguilar**

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Lourdes Gabriela Hoyos Fernández**

SINODAL (A)

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Miguel Angel Martínez Damián**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2019

# **EL IMPACTO ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea Mays L.*) EN LA REGIÓN AMECAMECA, ESTADO DE MÉXICO.**

**José Luis Jolalpa Barrera, Dr.**

**Colegio de Postgraduados, 2019**

## **RESUMEN**

El impacto en el ámbito económico del cambio climático en los cultivos agrícolas, hoy en día juega un papel estratégico en la definición de acciones que contribuyan a mitigar los efectos adversos que este fenómeno pueda generar; no obstante, existen algunos estudios que proporcionan evidencias de que los efectos del cambio climático en algunas regiones será benéfico. En el caso de Amecameca, región ubicada en los Valles altos de México (2100-2600 msnm), se realizó un estudio para evaluar el impacto económico del cambio climático sobre el ingreso neto de los productores de maíz, mediante una caracterización de los productores y la estimación de una función de producción como línea base (2003-2015). Los resultados muestran, que la función que mejor estimó el efecto simultáneo de un incremento en la temperatura de 0.6 °C y una disminución de la precipitación de 4.1% sobre el rendimiento de maíz para el periodo 2016-2020, fue una cuadrática en la época de siembra. El impacto económico del cambio climático para este periodo será positivo; pero muy heterogéneo a nivel productor, dicho impacto es de \$537.8 por ha, producto de un aumento en el rendimiento de 0.29 t ha<sup>-1</sup>, y representa el 18.5% del ingreso neto del agricultor. La diferencia, entre el impacto económico de aquellos productores con mayores rendimientos, 2.5 a 3 t ha<sup>-1</sup>, y menores, 1 a 1.5 t ha<sup>-1</sup>, es de \$1,380.3 por ha, el cual es significativo, considerando que el 90% de los productores tienen rendimientos entre 1 y 2 t ha<sup>-1</sup>, y que el 69% siembran en una superficie de 1 a 2 ha. Dada las características de la región, del sistema de producción y del agricultor, se recomienda, entre otras cosas, la adopción de técnicas de mejoramiento participativo de maíces criollos, la labranza de conservación, y la organización de productores, como medio para facilitar un mayor uso de la tecnología, el acceso a la asistencia técnica, al financiamiento, y al mercado.

**Palabras claves:** maíz, cambio climático, Valles Altos.

# **ECONOMIC IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MAIZE (*Zea Mays L.*) CROPS IN THE REGION OF AMECAMECA, THE STATE OF MEXICO.**

**José Luis Jolalpa Barrera, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2019**

## **ABSTRACT**

The economic impact of climate change on agricultural crops nowadays plays a strategic role in the definition of actions that will contribute to mitigate the adverse effects that this phenomenon can generate. However, there are some studies that provide evidence that the effects of climate change might be beneficial in some regions. In the case of Amecameca, region located in the Mexican High Valleys (2100 – 2600 masl), a study was done to evaluate the economic impact of climate change with regard to the net income of maize producers, through a characterization of the producers and the estimation of a production function as a baseline (2003-2015). The results show that the function which best estimated the simultaneous effects of a 0.6 °C temperature rise and a 4.1% decrease in rainfall on maize yield in the 2016-2020 period was a quadratic function in the sowing season. The economic impact of climate change in this period will be positive, but very heterogeneous for the producers. This impact represents \$537.8 per ha, as the result of a yield increase of 0.29 t ha<sup>-1</sup>, which in turn represents 18.5% of the net income of the producers. The difference between the economic impact on higher yield producers, 2.5 to 3 t ha<sup>-1</sup>, and the lower yield producers, 1 to 1.5 t ha<sup>-1</sup>, is \$1,380.3 per ha. This is a significant difference, considering that 90% of the producers obtain yields from 1 to 2 t ha<sup>-1</sup>, and that 69% of them work with land surfaces between 1 and 2 ha. Given the characteristics of the region, the production systems, and the farmers, we recommend, among other measures, the adoption of participative improvement techniques for native maize lines, preservation tilling, and organizing the producers as means to facilitate the better use of technology, as well as access to technical assistance, financing, and the market.

**Key words:** maize, climate change, High Valleys.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero recibido durante mis estudios doctorales en el Colegio de Postgraduados.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por su apoyo en la realización de mis estudios doctorales.

Al Colegio de Postgraduados por recibirme y permitir que un servidor realizará sus estudios en tan noble Institución.

Al Dr. José Miguel Omaña Silvestre, por su acertada dirección en la realización de la presente investigación; Dr. José Antonio Espinosa García, por sus valiosos consejos y sugerencias en el mejoramiento de la presente tesis; Dra. Laura Elena Garza Bueno, por su asesoría y eficaz revisión en la investigación; Dra. Gabriela Hoyos Fernández, por su apoyo incondicional y sugerencias en este trabajo; Dra. Graciela Bueno Aguilar, por su asesoría y revisión en la presente investigación; y Dr. Miguel Ángel Martínez Damián, por su apoyo en la revisión de la presente tesis.

A todas aquellas personas que contribuyeron de alguna manera en mi formación y culminación de este trabajo de investigación.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 El planteamiento del problema .....	3
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 General .....	5
1.3.2 Específicos .....	5
1.4 Hipótesis .....	5
1.4.1 General .....	5
1.4.2 Específicas .....	6
2. MARCO DE REFERENCIA .....	7
2.1 Ubicación de la zona de estudio .....	7
2.2 El cultivo de maíz en México .....	8
2.3 El Cambio climático y su impacto en la agricultura .....	10
2.4 Acciones y/o medidas de mitigación .....	15
2.5 Escenarios del cambio climático .....	18
3. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA .....	20
3.1 Función de producción .....	20
3.2 Teoría de costos .....	22
3.3 Tasa de descuento .....	23
3.4 Los métodos de evaluación del impacto económico .....	24
3.4.1 Enfoque Función de producción .....	25
3.4.2 Enfoque Ricardiano .....	27
3.5 Metodología y fuentes de información .....	30
3.5.1 Encuesta a productores .....	30
3.5.2 Depuración de la información .....	31
3.5.3 Identificación de variables socioeconómicas y técnica-productivas .....	31
3.5.4 Parámetros fisiológicos-productivos del cultivo de maíz .....	32
3.5.5 Demarcación de las estaciones climáticas .....	32
3.5.6 Parámetros climáticos utilizados en la evaluación del impacto .....	35
3.5.7 Parámetros económicos utilizados en la evaluación del impacto .....	36
3.5.8 Determinación de los costos de producción .....	38
3.5.9 Variabilidad del precio de maíz y medición del riesgo .....	38
3.5.10 Clasificación del proceso de producción de maíz en la evaluación .....	40
3.5.11 Especificación del modelo .....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1 Características del productor .....	45
4.1.1 Edad y sexo .....	45
4.1.2 Escolaridad .....	45
4.2 Características del sistema de producción .....	46

4.2.1 Superficie sembrada de maíz .....	46
4.2.2 Tipos de maíz sembrados.....	47
4.2.3 Destino de la producción de maíz.....	48
4.2.4 Productos del maíz más importantes para el ingreso de los productores .....	49
4.2.5 Rendimiento de grano.....	50
4.2.6 Prácticas de cultivo.....	51
4.3 Costo de producción de maíz .....	52
4.4 Ingresos en la producción de maíz.....	53
4.5 Ganancias en la producción de maíz.....	54
4.6 Variabilidad del precio del maíz .....	55
4.7 Variabilidad climática .....	58
4.8 Estimación de los modelos .....	60
4.8.1 Modelo Rendimiento-Temperatura media .....	61
4.8.2 Modelo Rendimiento-Precipitación.....	65
4.8.3 Modelo conjunto rendimiento y temperatura-precipitación .....	67
4.9 Estimación del impacto en rendimiento.....	69
4.10 Estimación del impacto económico.....	71
5. <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	76
5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	77
6. <b>LITERATURA CITADA</b> .....	79
7. <b>ANEXO</b> .....	87



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de maíz en México (2012-2016) .....	8
Cuadro 2. Superficie sembrada y rendimiento de maíz en México (2012-2016).....	9
Cuadro 3. Producción de Maíz por distrito en el Estado de México (2007-2016)..	10
Cuadro 4. Precios mundiales de arroz, trigo y maíz (US/t métrica) en 2000 y 2050 .....	13
Cuadro 5. Estaciones climatológicas demarcadas en la región de Amecameca... 33	
Cuadro 6. Diferencias de altitudes entre las estaciones climatológicas y las comunidades de los productores encuestados. ....	35
Cuadro 7. Valores medios de temperatura y precipitación, mayo-octubre en zonas productoras de maíz en Valles Altos.....	36
Cuadro 8: Clasificación del proceso de producción del cultivo de maíz en Amecameca .....	41
Cuadro 9. Edad y sexo de los productores .....	45
Cuadro 10. Escolaridad de los productores .....	46
Cuadro 11. Superficie sembrada de maíz .....	47
Cuadro 12. Tipos de maíz sembrados en Amecameca.....	47
Cuadro 13. Actividades realizadas por los productores para conocer nuevos tipos de semillas de maíz (Porcentaje).....	48
Cuadro 14. Destino de los productos del maíz.....	49
Cuadro 15. Productos del maíz con mayor importancia en el ingreso de los productores en Amecameca.....	49
Cuadro 16. Rendimiento de grano de maíz ( $t\ ha^{-1}$ ) .....	50
Cuadro 17. Prácticas de cultivo (Porcentaje) .....	51
Cuadro 18. Costo de producción de maíz en la región de Amecameca.....	52
Cuadro 19. Ingresos en la producción de maíz en Amecameca .....	54
Cuadro 20. Ganancias en la producción de maíz en Amecameca.....	55
Cuadro 21. Riesgo en la disminución del precio real de maíz en Amecameca .....	58
Cuadro 22. Variables climáticas: precipitación y temperatura en Amecameca .....	58
Cuadro 23. Estadísticas de la regresión: rendimiento y temperatura media .....	62
Cuadro 24. Estadísticas de la regresión: rendimiento y precipitación .....	66
Cuadro 25. Estadísticas de la regresión: rendimiento, temperatura media y precipitación .....	68
Cuadro 26. Efecto del cambio climático en el rendimiento medio de maíz en Amecameca .....	70
Cuadro 27. Efecto del cambio climático bajo diferentes niveles de productividad maíz .....	71
Cuadro 28. Estimación del impacto económico en la producción de maíz por hectárea en Amecameca (Pesos 2015) .....	72
Cuadro 29. Impacto económico en la producción de maíz por hectárea en Amecameca, a diferentes tasas de descuento (Pesos 2015).....	72
Cuadro 30. Estimación del impacto económico en la producción de maíz por hectárea con los productores encuestados en Amecameca (Pesos 2015) .....	73
Cuadro 31. Impacto económico con los productores de maíz encuestados en Amecameca, bajo diferentes tasas de descuento (Pesos 2015).....	74

Cuadro 32. Impacto económico en la producción de maíz por hectárea, bajo distintos niveles de productividad y tasas de descuento (Pesos2015). .....	74
Cuadro A.1. Superficie sembrada, producción, rendimiento, precio y valor de la Producción de maíz por Distrito de Desarrollo Rural 075,.....	87
Cuadro A.2. Variables climáticas en Amecameca, periodos quinquenales (1980-2015).....	88
Cuadro A.3: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	89
Cuadro A.4: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	90
Cuadro A.5: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	91
Cuadro A.6: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	92
Cuadro A.7: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	93
Cuadro A.8: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	94
Cuadro A.9: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	95
Cuadro A.10: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	96
Cuadro A.11: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	97
Cuadro A.12: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos .....	98
Cuadro A.13. Beneficio a nivel productor producto de la variabilidad climática en Amecameca, Esatado de México. (Periodo 2016-2020) .....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la región Amecameca, Estado de México.....	7
Figura 2. Función de producción considerando un producto y un insumo. ....	20
Figura 3. Etapas de una función de producción con un producto y un insumo. ....	21
Figura 4. Ubicación de las estaciones climatológicas en la región Amecameca...	34
Figura 5. Relación funcional: rendimiento, temperatura y precipitación .....	42
Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en Amecameca, Estado de México .....	51
Figura 7. Costo de producción de maíz por tonelada en Amecameca (Pesos 2015) .....	53
Figura 8. Ingresos de los productores de maíz por hectárea en Amecameca (Pesos 2015) .....	54
Figura 9. Ganancias por hectárea en la producción de maíz en Amecameca .....	55
Figura 10. Precio real del maíz en Amecameca Periodo (2004-2015) .....	56
Figura 11. Tasa de crecimiento del precio real de maíz en Amecameca (2004-2015) .....	56
Figura 12. Distribución normal de la tasa crecimiento continua del precio real de maíz en Amecameca (2004-2015) .....	57
Figura 13. Comportamiento de las variables: precipitación, temperatura media, mínima y máxima mensual en Amecameca. Periodo (1980-2015) .....	60
Figura 14. Relación: rendimiento maíz y Temperatura media (época de siembra) en Amecameca, 2006-2015.....	62
Figura 15. Relación: rendimiento de maíz y precipitación (época de siembra) en Amecameca, 2003-2015. ....	65

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

La agricultura es un sector clave en la economía e imprescindible para cualquier modelo de desarrollo económico ya que mediante el uso de los recursos naturales genera alimentos y materias primas para el resto de los sectores de la economía (Vázquez *et al.*, 2009).

Actualmente, el impacto en el ámbito económico del cambio climático en la agricultura es innegable y la evidencia internacional así lo demuestra. De acuerdo con Molua y Lambi (2007), la ganancia neta de los cultivos en algunas unidades de producción agrícolas de Camerún disminuye a medida que la precipitación decrece y la temperatura aumenta. Por otro lado, Seo *et al.*, (2005) muestra en un estudio realizado en Sri Lanka que los incrementos en el nivel de temperatura afecta de manera negativa los niveles de ingreso neto de los productores agrícolas, en cambio, una mayor precipitación afecta estos niveles de manera positiva. Por su parte, González *et al.*, (2008), en un estudio realizado en Chile, arroja evidencias de la relación entre las variables climáticas y las variables económicas de los sistemas de producción, y mediante el uso del modelo denominado “Ricardiano” explica de manera satisfactoria (38%), la variación total nacional de la variable valor del suelo agrícola en respuesta al cambio climático.

Para el caso de México, Galindo (2009), menciona que los impactos del cambio climático estimados para los años 2030 y 2050 en la agricultura, indican que un aumento de la temperatura tiene un impacto inicial positivo en la producción y en los rendimientos; sin embargo, pasando ciertos límites de temperatura los impactos se hacen negativos; asimismo, los cambios en los patrones de precipitación tienen un impacto similar en la producción.

Por último, Olivera (2013), muestra que el cambio climático provocará, en promedio, un incremento en la temperatura media de 1.23 °C, así como una disminución en la precipitación de 13.8% en México (dependiendo la región del país) para los años 2030 y 2039, y que la conjugación de estos efectos provocará una reducción en la producción de maíz de temporal; no obstante, estos impactos serán muy heterogéneos, de ahí que concluya que el cambio climático beneficiará a algunas regiones y perjudicará a otras.

El término “cambio climático” denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2007). Por su parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), lo define como “la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo”.

Por lo tanto, el cambio climático se ve reflejado en la modificación de la temperatura y la precipitación; estas variables afectan la disponibilidad de agua en el suelo, la duración y período de lluvias; así como la adaptación de los cultivos agrícolas. De acuerdo con Ruttan (1991) “El cambio climático regional y global modificará tanto la capacidad de producción de la agricultura como su localización”.

Estas manifestaciones de cambios en la temperatura y precipitación, desencadenan acciones de adaptación por parte de los productores agropecuarios en sus unidades de producción, tales como la adopción de nuevas variedades de semillas resistentes a temperaturas elevadas, y la adopción de tecnologías y

prácticas de cultivo que contribuyan a hacer más eficiente el uso del agua.

En virtud de lo anterior, existe un creciente interés por valorar los posibles efectos de un fenómeno cuyas consecuencias van de severas a devastadoras y que sigue siendo el eje de un profundo debate respecto a sus causas e impactos.

## **1.2 El planteamiento del problema**

La preocupación por profundizar en los efectos del cambio climático, hoy en día, es común entre los productores agrícolas. No obstante, resulta de particular interés lo referente al maíz, el cual tiene su origen en la región geográfica denominada “Mesa Central de México”, y es considerado como el cultivo agrícola más importante en nuestro país, debido al gran número de productores que lo siembran y a su uso como ingrediente principal en la alimentación humana (Moctezuma *et al.*, 2010; Velázquez *et al.*, 2009). En México, el consumo per cápita de maíz es de 120 kg, muy superior al promedio mundial de 17 kg (Ortiz y Ramírez, 2017), de ahí que, se produzca una amplia gama de variedades de maíz, con las cuales se generan una gran cantidad de productos finales, tales como: tortillas, almidones, glucosa, fructosa, dextrosa, aceites, botanas, etanol para bebidas o como insumo en la producción de biocombustible (SIAP, 2015).

Se estima que aproximadamente 3 millones de productores lo cultivan en una superficie de 7 millones de ha (Estrada, 2011). Uno de los principales estados productores de este cultivo es el Estado de México, cuya superficie destinada a este cereal fue de 542,503 ha en promedio durante el periodo 2012-2016, ocupando el tercer lugar en producción con 2 millones de toneladas, y con un rendimiento medio de 3.71 t ha<sup>-1</sup>, superior al rendimiento nacional de 3.38 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2017).

Por lo que, el análisis de los efectos de la variabilidad climática, producto del cambio climático, sobre los cultivos agrícolas, entre ellos el maíz, es de suma importancia, de hecho, se tiene conocimiento que la producción agrícola es muy

sensible al cambio climático (McCarthy *et al.*, 2001), y que los efectos de este fenómeno son diferentes a nivel región.

Dentro del Estado de México, una de las zonas agrícolas en la producción de maíz es la región de Amecameca, localizada en el área denominada Valles Altos de México (2100-2600 msnm), cuya producción la realizan en su mayoría pequeños productores bajo condiciones de temporal, y la semilla que utilizan en su producción es principalmente criolla. Los rendimientos en promedio son bajos, y son seriamente afectados por las condiciones climáticas.

De ahí que Turrent (1994), describa que el maíz cultivado bajo riego y temporal benigno, en los Valles Altos de México, queda expuesto a riesgos de merma por heladas y granizadas; asimismo el maíz de temporal con humedad residual queda expuesto además de lo anterior, a sequías.

En el caso de México, es muy probable que el clima sea más cálido para los años 2020, 2050 y 2080, principalmente en el norte del país, por lo que, se proyectan disminuciones en la lluvia, así como cambios en su distribución temporal, estimándose reducciones de hasta 15% en las regiones del centro del país (INE, 2007).

A nivel mundial, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), predice un aumento de temperatura media de la superficie de la tierra de 1.4 a 5.8 °C, y que la productividad de los cultivos aumentará ligeramente en latitudes medias a altas para aumentos de la temperatura media, de hasta 1 a 3 °C, en función del tipo de cultivo, para seguidamente disminuir por debajo de ese nivel en algunas regiones. En cambio, en latitudes inferiores, especialmente en regiones estacionalmente secas y tropicales, la productividad de los cultivos disminuiría para aumentos de la temperatura local aún menores, de entre 1 y 2 °C.

Bajo estas circunstancias, resulta importante, analizar el efecto de la variabilidad climática: temperatura y precipitación, atribuible al cambio climático, en el cultivo de maíz, y como este impacto afecta en los beneficios económicos (ingreso neto) de los productores en Amecameca, Estado de México, región altamente vulnerable a las condiciones climáticas (Turrent, 1994).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Evaluar el impacto económico del cambio climático (temperatura y precipitación) sobre el ingreso neto de los productores de maíz en Amecameca, Estado de México, durante el periodo 2016-2020.

#### **1.3.2 Específicos**

Caracterizar a los productores de maíz de la región de Amecameca con base al tamaño del predio y niveles de productividad con la finalidad de determinar el impacto económico en sus ingresos.

Estimar cuantitativamente el efecto del cambio climático (temperatura y precipitación) en el rendimiento del maíz cultivado por los productores de Amecameca, Estado de México.

Estimar los umbrales en las variables temperatura y precipitación con la finalidad de determinar la magnitud y dirección del impacto de las variables climáticas en el rendimiento y en el nivel de ingreso del productor.

### **1.4 Hipótesis**

#### **1.4.1 General**



El cambio climático (cambios en temperatura y precipitación) afectará negativamente el ingreso neto de los productores de maíz en Amecameca, Estado de México, durante el periodo 2016-2020.

#### **1.4.2 Específicas**

El efecto de las variables climáticas: temperatura y precipitación, sobre el rendimiento del maíz afectará de manera negativa al rendimiento de los productores, y generará al menos una disminución del 10% en el ingreso de éstos.

Los umbrales de las variables climáticas: temperatura y precipitación se ubican por abajo de los niveles actuales de temperatura y precipitación en la región, generando un impacto negativo en el ingreso de los productores.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Ubicación de la zona de estudio

La región de Amecameca se ubica en la parte sur-oriente del Estado de México, y de acuerdo a la Secretaría de Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA), pertenece al Distrito de Desarrollo Rural número 75 de Texcoco y dentro de este al Centro de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER) número V (Figura 1), conformado por los municipios de Amecameca, Tlamanalco y Ayapango. Los principales cultivos en esta región son maíz grano, avena forrajera y trigo grano (SIAP, 2017).

En esta región predominan los climas fríos y templados sub-húmedos, con la mayor parte lluvias en verano y otoño, con una temperatura promedio anual de 14.1°C, y una precipitación anual de 935.6 milímetros. Su orografía está formada por la Sierra Nevada (México, Puebla, Morelos) y su hidrografía se compone de: Ríos Alcalican, Amecameca, Tomacoco y Tlamanalco; arroyos Chopanac, Almoloya, Coronilla, Amilpulco, de La Ciénega y de Alcalican (INEGI, 2009).



Figura 1. Ubicación de la región Amecameca, Estado de México.

Fuente: Información proporcionada por el DDR de Texcoco, Edo. de México. 2012

Amecameca es considerada como una zona con potencial productivo en el cultivo de maíz en condiciones de temporal, ya que se espera un cambio favorable para

el año 2030 en esta región, debido a un aumento de las zonas consideradas como muy aptas para la producción de maíz en comparación con la situación que prevalece actualmente (Sotelo *et al.*, 2011).

## 2.2 El cultivo de maíz en México

En México, el maíz es el cultivo más importante; no obstante, el volumen de producción no es suficiente para cubrir el consumo nacional de 38.7 millones de t que se estima para el ciclo comercial 2016/2017, de los cuales 23.3 millones de t son de maíz blanco y 15.3 millones son de maíz amarillo (FIRA, 2017), lo que obliga a realizar importaciones principalmente de Estados Unidos de Norteamérica, las cuales en general han tenido un comportamiento ascendente año con año. En 2006 se importaron 7.57 millones de t y en 2008 se importaron 9.09 millones de t; en 2012 las importaciones fueron de 9.45 millones de t, y al cierre de 2015, las importaciones de maíz se estimaron en 12.05 millones de t (SIAVI-SE, citado por FIRA 2017).

El estado de Sinaloa es el principal productor de maíz grano, durante el periodo 2012-2016, obtuvo una producción de 4.6 millones de t, 18.8% del total nacional (24.2 millones de t), seguido de Jalisco y Estado de México con 3.4 y 2.0 millones de t, 14.1% y 8.1% respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales estados productores de maíz en México (2012-2016)

Estado	Producción*	% respecto al total
	(millones de ton)	
Sinaloa	4.55	18.8%
Jalisco	3.40	14.1%
Estado de México	1.96	8.1%
Michoacán	1.82	7.5%
Guanajuato	1.48	6.1%
Otros	10.97	45.3%
Total	24.2	100.0%

\*Se refiere al promedio

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2017.

Con respecto a la superficie sembrada, durante ese mismo periodo 2012-2016, Chiapas fue el principal estado con 698,513 ha, de un total de 7.5 millones de ha sembradas en México; seguido de Oaxaca y Veracruz, con 579,842 ha y 577,019 ha. El Estado de México y Sinaloa ocuparon el sexto y séptimo lugar con 542,503 ha y 496,215 ha, 7.2% y 6.6% de la superficie total nacional (Cuadro 2); en cuanto al rendimiento, estos dos últimos estados obtuvieron 3.71 y 9.62 t ha<sup>-1</sup>, rendimiento superior al de Chiapas, Oaxaca y Veracruz, cuya productividad fue 1.90, 1.23 y 2.19 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie sembrada y rendimiento de maíz en México (2012-2016).

Estado	Superficie sembrada (ha)	Porcentaje Superficie Sembrada respecto al total nacional %	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Chiapas	698,513	9.3	1.90
Oaxaca	579,842	7.7	1.23
Veracruz	577,019	7.7	2.19
Jalisco	570,336	7.6	6.07
Puebla	558,107	7.4	1.84
Estado de México	542,503	7.2	3.71
Sinaloa	496,215	6.6	9.62
Michoacán	479,959	6.4	4.03
Guerrero	475,434	6.3	2.67
Guanajuato	391,719	5.2	3.93
Otros	2,159,893	28.7	2.95
Total	7,529,540	100.0	3.38*

\*Promedio nacional

Fuente: Elaboración propia con base a datos del SIAP, 2017.

Por otra parte, se estima que casi el 80% de la superficie dedicada al maíz en México está sembrada con semillas criollas, lo cual resalta la importancia de que en México los agricultores que cultivan este tipo de semillas en forma tradicional, contribuyen a la conservación y a la generación de la diversidad genética *in situ* de este cultivo (Sahagún *et al.*, 2009).

A nivel Estado de México, durante el periodo 2007-2016, se tiene que el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Atlacomulco es el principal productor con 508,710 t,

seguido de Toluca con 454,343 t. El distrito de Texcoco ocupó el sexto lugar con una producción de 110,790 t, y el séptimo en superficie sembrada con 33,388 ha; en cuanto al rendimiento ocupó el segundo lugar con 3.33 t ha<sup>-1</sup>, únicamente por debajo de Toluca con 3.81 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción de Maíz por distrito en el Estado de México (2007-2016).

Distrito de Desarrollo Rural	Superficie Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Precio medio rural (\$ t)	Valor Producción (miles de pesos)
Atlacomulco	156,294	508,710	3.29	3,300	1,631,786
Coatepec Harinas	31,869	102,100	3.21	3,692	375,580
Jilotepec	49,853	149,178	3.19	3,454	492,437
Tejupilco	50,222	126,568	2.53	3,929	494,955
Texcoco	33,388	110,790	3.33	3,442	376,021
Toluca	127,850	454,343	3.81	3,271	1,445,814
Valle de Bravo	50,526	161,315	3.26	3,769	601,240
Zumpango	47,452	110,224	2.54	3,490	387,202
Total	547,454	1,723,227	3.49		5,281,725

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2017.

Dentro del distrito de Texcoco, la región Amecameca generó una producción media de 28,522 t, en los años 2008-2016, de las cuales 15,676 t corresponde a Amecameca, 6,418 t a Ayapango y 6,429 t a Tlamanalco; dicha producción representó el 26% de la producción total del distrito de Texcoco (Cuadro A.1 del Anexo).

En cuanto a la superficie sembrada, en ese mismo lapso de tiempo, esta región cultivó 8,519 ha; de las cuales, 4,568 ha son de Amecameca, 1,980 ha de Ayapango, y 1,971 ha de Tlamanalco, lo cual representó el 26% de la superficie sembrada de maíz en el distrito de Texcoco, 33,107 ha.

### 2.3 El Cambio climático y su impacto en la agricultura

Existen diversos estudios que han documentado los efectos del cambio climático en la agricultura, en la alimentación humana, en los precios de los cultivos

agrícolas, en los ingresos de los productores, y en general en el sector agropecuario (IPCC, 2007; FAO, 2009; IFPRI, 2009; Magaña, 2010; Tinoco *et al.*, 2011; Ureta *et al.*, 2012; Ahumada *et al.*, 2014; FAO, 2017). Asimismo han arrojado evidencias sobre las principales causas que lo originan y las medidas de mitigación para contrarrestar este fenómeno.

El cambio climático es originado por la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), dentro de los cuales, los más importantes son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). De acuerdo con IPCC (2007), las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el GEI antropógeno más importante, y sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% en ese mismo lapso de tiempo. Los aumentos de la concentración mundial de CO<sub>2</sub> se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una menor proporción, a los cambios de uso de la tierra. Por su parte, el aumento de metano CH<sub>4</sub> se debe en su mayoría a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil; y el aumento de la concentración de N<sub>2</sub>O es en su mayoría de la agricultura.

De ahí que se mencione, que la agricultura sea la responsable del 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), sin incluir las emisiones derivadas de cambios de uso del suelo del orden del 18%, que en su mayoría son de esta misma actividad (IPCC, 2007). La principal emisión de gas que se produce en la agricultura es el óxido nitroso, producido en los suelos a partir del uso de los fertilizantes nitrogenados de síntesis (38%) (Bermejo, 2010).

Con respecto, a los efectos del cambio climático en la agricultura, se tiene que uno de estos es en el precio de los cultivos básicos, tales como el maíz, el trigo y el arroz, ya que bajo los escenarios de crecimiento de la población y de los patrones de consumo de alimentos que se tienen actualmente, la producción de alimentos

tendrá que aumentar un 70% para el año 2050, con la finalidad de satisfacer la demanda mundial de alimentos y de no comprometer la seguridad alimentaria (FAO, 2009). Lo anterior, se agudiza en un entorno de cambio climático, donde se predice que este fenómeno afectará con un aumento en los precios internacionales de los alimentos, dado la disminución de la producción, el crecimiento de la población y en consecuencia el aumento de la demanda esperada de alimentos.

En un estudio realizado por IFPRI (2009), sobre el impacto del cambio climático en la agricultura, bajo el escenario A<sup>2</sup> que establece un crecimiento poblacional fuerte y un desarrollo económico lento; y mediante el uso de dos modelos para simular el clima en el futuro: modelo del Centro Nacional de los Estados Unidos para la Investigación Atmosférica (NCAR) y el modelo de Australia, Organización de Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad Británica (CSIRO), concluye que “el cambio climático afectará negativamente la agricultura y el bienestar humano”, y que este cambio afectará los precios internacionales de cultivos básicos como el maíz, arroz y trigo. Este efecto se reflejará en aumentos adicionales al crecimiento del precio internacional.

De acuerdo con la FAO (2009), el crecimiento poblacional se estima aumente en más de un tercio, es decir se incremente en 2 300 millones de personas, entre 2009 y 2050; de igual manera se pronostica que las áreas urbanas representarán el 70 % de la población mundial en 2050, muy superior al 49 % en 2009; por último, con respecto a los ingresos per cápita se estima que se multiplicarán respecto al 2009.

Lo anterior, indica que aún sin cambio climático, los precios de los cereales como arroz, maíz y trigo se incrementan en el año 2050, tal y como se observa en el Cuadro 4, donde el precio de arroz es de 190 dólares por t métrica en el año 2000, y para el año 2050, sin cambio climático, se estima en 307 dólares; sin embargo, al incorporar el cambio climático, el precio bajo los modelos NCAR y CSIRO se

incrementan aún más, pasando a 421 y 406 dólares por t, es decir hay un aumento adicional en el precio de 114 y 99 dólares respectivamente. De igual manera sucede con el precio del trigo, y el precio del maíz (IFPRI, 2009).

Cuadro 4. Precios mundiales de arroz, trigo y maíz (US/t métrica) en 2000 y 2050

Producto agrícola	2000	2050		
		Sin cambio climático	NCAR*	CSIRO**
Arroz (US\$/ton)	190	307	421	406
Incremento del precio respecto al año 2050, sin cambio climático (US\$/t)			114	99
Trigo (US\$/ton)	113	158	334	307
Incremento del precio respecto al año 2050, sin cambio climático (US\$/t)			176	149
Maíz (US\$/ton)	95	155	235	240
Incremento del precio respecto al año 2050, sin cambio climático (US\$/t)			80	85

\*Modelo del Centro Nacional de los Estados Unidos para la Investigación Atmosférica (NCAR)

\*\*Modelo de Australia, Organización de Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad Británica (CSIRO)

Fuente: IFPRI, 2009.

Otro efecto del cambio climático es en la alimentación humana, ya que las variaciones en la producción y en los precios generados por el cambio climático, provocan cambios en el nivel de consumo de los alimentos. De acuerdo con IFPRI (2009), el aumento estimado en el ingreso per cápita entre los años 2000 y 2050, sin considerar el cambio climático, da como resultado una disminución en el consumo per cápita de cereales y un aumento en el consumo de carne. En contraste, si se considera el cambio climático, se reduce ligeramente el crecimiento en el consumo de carne y disminuye el consumo de cereales de una manera más severa. Lo anterior se debe, a que bajo un escenario de cambio climático la producción disminuye y los precios internacionales de los alimentos (cereales y carne) sufren un incremento adicional. La disminución en el consumo de cereales se traduce al final en disminuciones en la disponibilidad de calorías. Lo anterior, corrobora lo descrito por la FAO (2017), “la demanda de alimentos está cambiando hacia un mayor consumo de carne y productos lácteos así como



otros alimentos de producción intensiva, lo que tiene serias repercusiones en el uso sostenible de los recursos naturales”.

Aunado a lo anterior, se estima que la demanda de cereales, destinados tanto al consumo humano como animal, alcanzará unos 3 mil millones de t en el año 2050, y la demanda de otros productos alimenticios, que son más sensibles al aumento de los ingresos, como son los productos lácteos y los aceites vegetales, crecerán más rápidamente que los cereales. Lo anterior se debe a que para alimentar una población mundial de 9 100 millones de personas que se pronostica para el 2050, será necesario aumentar la producción de alimentos en un 70 %. Ello implica que tendría que incrementarse mil millones de t anuales la producción de cereales, y la producción de carne aumentar en más de 200 millones de t hasta alcanzar un total de 470 millones t en 2050 (FAO, 2009). Estas tendencias indican que la demanda comercial de alimentos para consumo humano seguiría creciendo, independientemente del cambio climático, pero la situación se agudiza más con los efectos de este fenómeno.

Por otro lado, con respecto a los efectos de cambio climático en los pequeños productores, se prevé que estos serán mayores, debido a la existencia de una alta dependencia con la agricultura, ya que un porcentaje importante de su producción es para autoconsumo y la otra parte se destina al mercado; otros elementos que hacen más vulnerables a los pequeños productores son las superficies pequeñas de tierra que poseen para la producción (la mayoría por debajo de 2 ha); la ubicación de sus tierras, principalmente, en áreas marginales, y el sistema de producción que en su mayoría se realiza bajo condiciones de temporal.

La agricultura de temporal es la más vulnerable a los efectos del cambio climático, y en México el 81% de la superficie sembrada con maíz es de temporal y su siniestralidad es cinco veces mayor a la agricultura de riego (Ahumada *et al.*, 2014). De ahí que Magaña (2010), en un estudio menciona que en Querétaro y Guanajuato se perderán posibilidades de mantener cultivos de maíz de temporal,

producto de una reducción del 5 y 10% en la precipitación durante el periodo 2030-2050.

Aunado a lo anterior, los pequeños productores de maíz también se enfrentarán a otros efectos que el cambio climático tendrá en la aptitud del uso del suelo; en la distribución e intensidad de los brotes de plagas y enfermedades; en la reducción de la disponibilidad de agua, y en la reducción de los ingresos provenientes de su producción.

De acuerdo con Ureta *et al.* (2012), cerca del 77% de la superficie del territorio mexicano es apto para el cultivo de por lo menos una raza de maíz. Por su parte, Tinoco *et al.*, (2011), en un estudio realizado en Jalisco, estima un incremento en la superficie no apta para el cultivo de maíz del orden de 90.8% para el año 2050 bajo un escenario crítico y 63.6% bajo un escenario benévolo.

En resumen, el cambio climático, afectará de manera más severa a los pequeños productores, y en especial a los productores de maíz; no solamente se tendrá una reducción de la productividad (rendimiento) de los cultivos; sino también un incremento la superficie no apta para el desarrollo de diversos cultivos, como es en el caso de maíz. Aunque hay que tener presente, que habrá regiones donde la producción podría mantenerse e incluso incrementarse, sobre todo en altitudes templadas, debido a una reducción del periodo libre de heladas y al incremento de la temperatura. Sin embargo, para que este efecto sea benéfico, el incremento de temperatura no deberá ser mayor a 3°C (IPCC, 2007).

#### **2.4 Acciones y/o medidas de mitigación**

Dentro de los grandes retos que el productor tiene para afrontar los efectos adversos del cambio climático se encuentran las medidas y las acciones adaptativas que debe emprender. El mejoramiento constante de la tecnología agrícola ha demostrado ser un factor relevante para amortiguar estos efectos. En Francia, el manejo conjunto de tecnologías mejoradas tuvo como resultado un

incremento en el rendimiento de maíz de manera gradual al pasar de 0.25 kg/m<sup>2</sup> a 0.97 kg/m<sup>2</sup> en los últimos 40 años (Hawkins *et al.*, 2013 citado por Ahumada *et al.*, 2014). De ahí la importancia de que el productor vea a la tecnología como un factor clave, ya que esta representa una opción viable para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático.

Entre las acciones más importantes que puede realizar el productor se encuentra la adopción de nuevas variedades con requerimientos de hibernación o resistencia incrementada al calor y la sequía, y con condiciones más propicias de adaptabilidad al estrés hídrico.

Otra acción o medida de adaptación es el ajuste de las fechas de siembra de los cultivos, con el propósito de conservar y aprovechar de la mejor manera la humedad del suelo, debido a que el incremento de la temperatura afecta la fisiología de las plantas y acelera las etapas de desarrollo de los cultivos, reduce su ciclo fenológico y en consecuencia disminuye el rendimiento de estos, de ahí que algunas investigaciones recomienden esta actividad (Ahumada *et al.*, 2014).

La labranza de conservación o labranza mínima es una buena alternativa para el productor con el objetivo de conservar la humedad del suelo. Olguín *et al.*, (2017), en un estudio sobre la Producción y rendimiento de maíz bajo cuatro tipos de labranza en condiciones de temporal en el municipio de Venustiano Carranza, Jalisco, demostró que la labranza de conservación presenta el mejor comportamiento en la producción de maíz al generar menor estrés hídrico. Lo anterior, nos indica que las acciones de conservación de suelo, por parte del productor, es una excelente actividad que permite contrarrestar el cambio climático.

Dada la importancia de conservar de la humedad del suelo y en general de los recursos naturales, ante los efectos del cambio climático, el enfoque de “la agricultura de conservación” ha tenido cada vez mayor relevancia. Su

característica principal es que bajo este sistema de producción la regeneración del suelo es más rápida que su degradación, además la producción agrícola es económica, ecológica y socialmente sostenible (Vueltas, 2011). El IPCC (2007) propone como una estrategia de adaptación de la agricultura, ante el cambio climático, el control de la erosión y protección del suelo mediante la plantación de árboles.

No obstante, a lo anterior, la implementación de la agricultura de conservación por parte del productor presenta ciertas dificultades, como es una planificación adecuada en la rotación de cultivos, así como el uso de nuevas técnicas en el control de las plagas y las malas hierbas, y principalmente se requiere conocimientos sobre “agricultura de precisión” para el manejo de sembradoras especiales para este tipo de agricultura. El principal problema se presenta en la etapa de transición, en donde según la FAO (2006), en esta etapa las plagas o patógenos que se reproducen en el suelo pueden crear problemas debido a la modificando del equilibrio biológico.

En ese sentido, se requiere de nuevos esquemas de capacitación y de apoyos a la transferencia de tecnología, con la finalidad de impulsar la adopción y/o apropiación de la tecnología por parte de los productores, sobre todos de aquellos que producen en pequeña escala.

Inducir a los pequeños productores para que implementen acciones o medidas adaptativas, no es una tarea fácil, de ahí que la OCDE (2012) recomiende que, en el diseño de políticas para promover la adaptación al cambio climático se considere la posibilidad de hacer uso de herramientas de la economía del comportamiento como “el pequeño empujón” (nudge), así como de instrumentos que permitan la formación de redes que sirvan para promover la acción colectiva. En esta parte, es importante promover la organización de productores, ya que esto podría facilitar el acceso a la tecnología, a los programas de apoyo (subsidios), a

la asistencia técnica, a los créditos (financiamiento), y el acceso los mercados (comercialización).

La asistencia del agricultor a ferias tecnológicas, parcelas demostrativas e instituciones de investigación juega un papel estratégico, por lo que se debe impulsar esta actividad, con la finalidad de que el agricultor conozca las causas y consecuencias del cambio climático, y las medidas adaptativas que puede implementar en su unidad de producción; así como las opciones tecnológicas a su disposición. Bajo esta vertiente, las instituciones de apoyo al sector agrícola deben mejorar sus esquemas y enfoques de capacitación, y apoyo a la transferencia de tecnología, con la finalidad de inducir al productor a que tome medidas encaminadas a mitigar el impacto del cambio climático.

## **2.5 Escenarios del cambio climático**

Los escenarios de emisión de gases efecto invernadero (GEI) que se utilizan en las proyecciones climáticas son los desarrollados por Nakicenovic y Swart (2000). Estos escenarios se agrupan en cuatro vertientes o familias como las denominan (A1, A2, B1 B2), los cuales consideran el desarrollo de alternativas teniendo en cuenta aspectos demográficos, económicos y tecnológicos, junto con las emisiones de GEI resultantes (IPCC, 2007).

Escenario A1 describe un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes.

Escenario A2 describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.

Escenario B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información.

B2 describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

### 3. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

#### 3.1 Función de producción.

Una función de producción es un catálogo de posibilidades de producción, tal y como lo expresa Ferguson y Gould (1984) en la siguiente definición:

“Una función de producción es una relación (o cuadro, o ecuación matemática) que indica la cantidad máxima de producto que se puede obtener con un conjunto de insumos determinados, dada la tecnología...existente”.

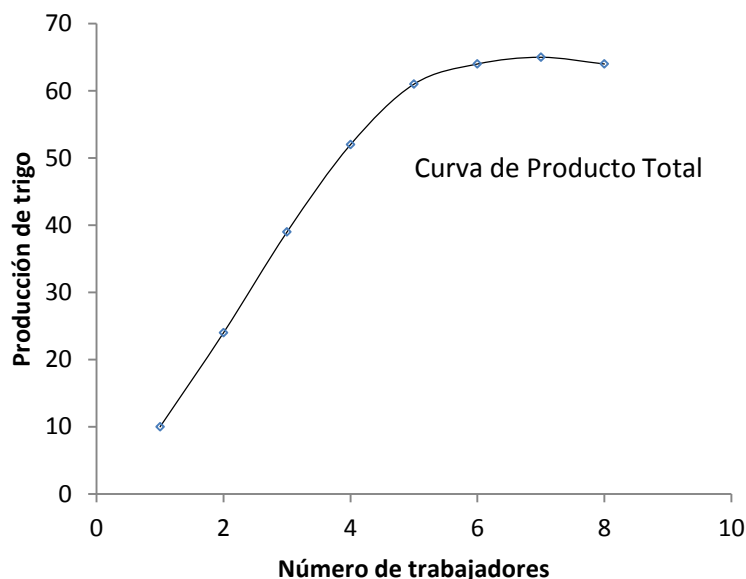


Figura 2. Función de producción considerando un producto y un insumo.

Fuente: Ferguson y Gould (1984), pág. 135.

En el análisis de una función de producción sobresalen tres conceptos importantes: producto medio, producto marginal y los rendimientos marginales físicos decreciente.

El producto medio se refiere al producto total dividido por el número de unidades del insumo variable que se emplea para generarlo. Es decir, es la relación

producto-insumo para cada nivel de producción y el volumen correspondiente del insumo.

En cambio, el producto marginal de un insumo es la adición al producto total, atribuible a la adición de una unidad del insumo variable en el proceso productivo, cuando el insumo fijo permanece constante.

Con respecto a los rendimientos marginales físicos decrecientes, la teoría indica que “cuando la cantidad de un insumo variable aumenta y la del resto de los demás insumos (fijos) permanecen constantes, se alcanza un punto más allá del cual el producto marginal disminuye” (Ferguson y Gould, 1984).

Dentro de una función de producción se identifican tres etapas, mismas que se ilustran en la figura 3.

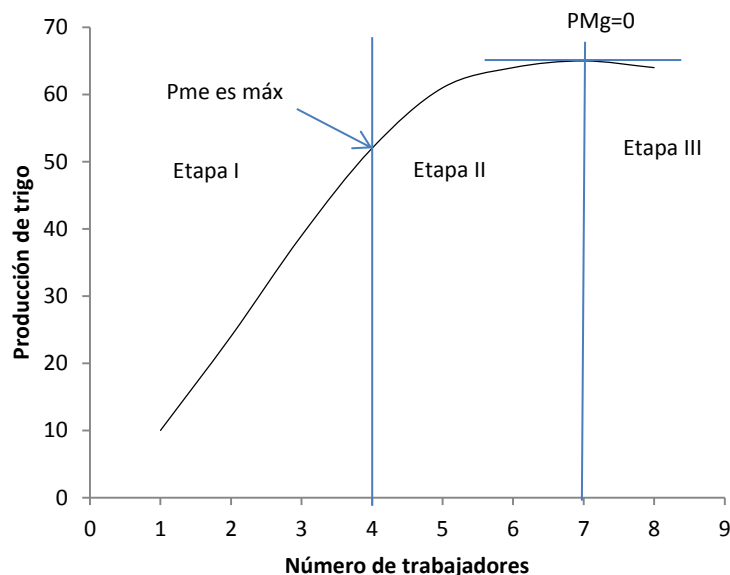


Figura 3. Etapas de una función de producción con un producto y un insumo.

Fuente: Elaborado con base a Ferguson y Gould (1984).

La primera etapa corresponde al uso del insumo variable a la izquierda del nivel 4, donde el producto medio alcanza su nivel máximo. La etapa II se ubica entre el



nivel de insumo 4 y 7, en este último es donde el producto marginal del insumo variable es cero. Finalmente, la etapa III corresponde al empleo del insumo variable a la derecha del nivel 7, en el cual, el producto marginal de este insumo es negativo.

Lo anterior indica, que el productor nunca producirá en la etapa I y III, debido a que en la etapa I, al aumentar la producción puede reducir costos, ya que está aumentando el producto medio del factor variable (cuando es constante), por lo tanto, el costo unitario de la producción disminuye al aumentar la producción; en el caso de la etapa III, el productor puede obtener mayor producción empleando menos insumo variable, por lo que tampoco sería conveniente producir en esta etapa. La etapa donde la producción sería eficiente sería en la II (Ferguson y Gould, 1984).

### **3.2 Teoría de costos**

En la teoría de costos se identifican al menos tres conceptos diferentes en torno al costo: el costo de oportunidad, el costo contable y el costo económico. Al respecto se enfatiza en la definición de este último.

De acuerdo con Nicholson (2004), el costo económico de un factor cualquiera es lo que hay que pagarle para mantenerlo en su empleo actual. Es decir, es la remuneración que recibiría en el mejor uso alternativo.

Un aspecto importante en la teoría de costos, es que “las condiciones físicas de la producción, el precio de los recursos y la eficiencia económica del productor, determinan conjuntamente el costo de producción.....” (Ferguson and Gould, 1984).

Esta definición, sin duda, puede extenderse en la determinación del costo de producción de un cultivo específico por parte de un agricultor.

Teóricamente, el costo total de producción, en el corto plazo, es la suma del costo variable total y el costo fijo total (Ferguson and Gould, 1984).

$$CT = CFT + CVT \dots\dots(1)$$

donde:

*CT = Costo total*

*CFT = Costo fijo total*

*CVT = Costo variable total*

El costo fijo es aquel, cuya magnitud, en el corto plazo, permanece constante independientemente del nivel de producción; por su parte, el costo variable, si cambia con el nivel de producción, de ahí que, el costo variable total es igual al número de unidades de insumo variable que se utilice multiplicado por el precio unitario del insumo.

### **3.3 Tasa de descuento**

De acuerdo con Gittinger (1989), al proceso de determinación del valor actual de un valor futuro se denomina actualización, y la tasa de interés que se utiliza para realizarlo se llama tasa de actualización, o tasa de descuento.

La tasa de interés refleja el costo de uso del capital; es decir, es un pago que se hace por el uso del dinero, expresado en general como un porcentaje del monto principal tomado en préstamo. El interés simple es el pagado en un periodo, en cambio el interés compuesto es el pagado no sólo sobre el monto tomado en préstamo, sino sobre los intereses devengados en periodos anteriores.

Brambila y Osuna (1992), definen a la tasa de interés real como aquella tasa de interés nominal convertida en valores reales, esto es en términos del nivel de

precios registrado en una año determinado (o año base), con el fin de tomar en cuenta el impacto inflacionario (o deflacionario) en el valor de los intereses cobrados.

La fórmula que relaciona la tasa de interés nominal con la inflación y con la tasa de interés real, para el tiempo es:

$$\frac{1 + i_t}{1 + \pi_t} = 1 + r_t \dots \dots \dots (2)$$

donde:

$i_t$  = Tasa de interés nominal

$\pi_t$  = Tasa de inflación

$r_t$  = Tasa de interés real

Si se multiplica ambos miembros de la ecuación (2) por el factor  $(1 + \pi_t)$  y se simplifica, se obtiene una expresión útil para la tasa de interés real ( $r_t$ ):

$$r_t = i_t - \pi_t \dots \dots \dots (3)$$

Si la tasa de inflación es positiva, entonces, conforme a la expresión (3), la tasa de interés real será menor que la tasa de interés nominal; de igual manera, tasa de interés real sólo es positiva si la tasa de interés nominal es mayor que la tasa de inflación.

### **3.4 Los métodos de evaluación del impacto económico**

En la actualidad, destacan dos enfoques metodológicos a nivel internacional para evaluar los efectos físicos y económicos del cambio climático en la agricultura

(Mendelsohn *et al.*, 1994; Rosenzweig *et al.*, 2004; García y Viladrich 2009; Mora *et al.*, 2010).

El primero es través de la estimación de una función de producción (Fleischer *et al.*, 2007, Mora *et al.*, 2010), la cual utiliza series de datos temporales, el uso de éstos modelos reflejan los efectos del clima (cambios en la precipitación y la temperatura) sobre la producción agrícola y sobre los diferentes cultivos, y ayuda a identificar los valores máximos a partir de los cuales las condiciones climáticas se vuelven perjudiciales (umbrales).

El segundo es a través del modelo económico denominado “Ricardiano” (Mendelsohn *et al.*, 1994; García y Viladrich 2009; y Mora *et al.*, 2010), el cual utiliza datos de corte transversal, y se fundamenta en el supuesto de que el valor de la tierra agrícola refleja la productividad de la misma. Por lo tanto, las variaciones climáticas que afectan la productividad pueden obtenerse a través de la renta agrícola, de ahí que este enfoque permita analizar cómo los agricultores enfrentarán los cambios futuros del clima mediante la búsqueda de una mayor renta de la tierra, bajo diferentes usos de la tierra.

De acuerdo con Guzmán (2015), en este modelo, el objetivo de los productores es maximizar sus beneficios económicos a través de una combinación específica entre producción y utilización de insumos, considerando en dicha maximización variables exógenas como el clima, y otras características agronómicas, y socioeconómicas.

### **3.4.1 Enfoque Función de producción**

De acuerdo con Fleischer *et al.*, 2007 (citado por Mora *et al.*, 2010), una función de producción agrícola ( $Q$ ) se puede expresar en función de variables endógenas, exógenas y de variables que representan la habilidad o capacidad de los agricultores.

Las variables endógenas ( $x$ ) incluyen trabajo, capital y otros insumos. Las exógenas ( $z$ ) comprenden variables climáticas (temperatura y precipitación), por último, las características de los agricultores ( $m$ ) incluyen variables de capital humano.

Por lo tanto, en términos formales la función de producción agrícola se representa de la siguiente forma:

$$Q_t = f(m_t, z_t, x_t) \dots \dots (4)$$

Donde  $Q_t$  representa el nivel de producción de un determinado producto y el subíndice  $t$  indica el tiempo o el año considerado.

Así, la función de ganancias de un agricultor que produce  $n$  cultivos para el período  $t$  se expresa de la siguiente forma:

$$\pi_t = \sum_{j=1}^n [p_j Q_j(m_t, z_t, x_{jt}) - w_t x_{jt}] \dots \dots (5)$$

Donde  $p_j$  representa el precio del producto  $j$ ,  $Q_j$  es la función de producción del producto  $j$  y  $w$  es el vector de precios de los insumos.

Un supuesto inherente a este tipo de modelación es que los agricultores buscan maximizar sus beneficios y, por lo tanto, eligen aquella cantidad de insumos ( $x^*$ ) que se les permita, suponiendo como dadas a las variables exógenas.

La cantidad óptima de insumos debe satisfacer la siguiente condición de primer orden en cada uno de los períodos considerados:

$$p_j = (\partial Q / \partial x_j) = w \quad j = 1, 2, \dots, n \dots \dots (6)$$

El modelo permite analizar de manera específica los cultivos en el tiempo. Dichas funciones de producción pueden ser cuadráticas, tres medios, logarítmicas, translogarítmicas, etc., (Seo and Mendelsohn, 2007).

Empíricamente, de acuerdo con Tonconi (2015), los efectos del cambio climático en términos de temperatura y precipitación sobre la producción se puede expresar con una función cuadrática, tal y como se expresa a continuación:

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 Temp + \beta_2 Temp^2 + \beta_3 Precip + \beta_4 Precip^2 + \beta_5 Temp * Precip + \mu \dots (7)$$

Donde la producción  $Q_t$  depende de la temperatura (Temp) y precipitación (Precip) en forma cuadrática, lo que permite el análisis del efecto del cambio climático en el rendimiento de la producción, mediante estimaciones de variables observadas en el tiempo, las que captan la variabilidad del clima (temperatura y precipitación), y paralelamente se identifican los umbrales de estas variables climáticas: máximos y mínimos.

El modelo estructural, de forma específica, para la función del rendimiento de un cultivo en t periodos de tiempo, se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 Temp + \beta_2 Temp^2 + \beta_3 Precip + \beta_4 Precip^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i M_i + \sum_{i=1}^n \delta_i X_i + \varepsilon_{it} \dots (8)$$

Donde,  $\beta_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\delta_i$ , son coeficientes del grado de respuesta a ser estimados de cada una de las variables del modelo (variables ambientales, socioeconómicas M, y productivas X), t denota el tiempo y  $\varepsilon_{it}$  son los términos aleatorios.

### 3.4.2 Enfoque Ricardiano

De acuerdo con Mora *et al.*, (2010), este modelo debe su nombre a David Ricardo, quien hizo la observación de que el valor de la tierra muestra su productividad neta

por el ingreso neto de la tierra  $\pi$ . Por lo tanto, se asume que los productores agrícolas maximizan el ingreso neto  $\pi$  dado por la siguiente ecuación:

$$\pi = \sum p_j Q_j(m, z, x) - \sum w_x x \dots (9)$$

Donde  $p_j$  es el precio de mercado del cultivo  $j$ ,  $x$  un vector de insumos,  $w_x$  el vector de precios de los insumos,  $z$  un vector de variables climáticas y  $m$  representa un vector de otras variables que afectan la producción del cultivo  $j$ .

Los productores eligen  $x$  para maximizar el ingreso neto de cada cultivo, dadas las características intrínsecas a la unidad de producción (temperatura, precipitación, tipo de suelo, acceso a mercados, etcétera) y el precio de mercado de los productos. La función óptima resultante es:

$$\pi^* = f(p_j, z, m, w_x) \dots (10)$$

El modelo “Ricardiano” utiliza la especificación anterior para determinar de qué manera cambios en variables exógenas contenidas en  $z$  y  $m$  afectan la productividad neta de la tierra. El valor de la tierra (LV) es entonces el valor presente del flujo de ingresos netos (citado por Mora *et al.*, 2010):

$$LV = \int_0^{\infty} \pi_t^* \cdot e^{-rt} dt \dots (11)$$

donde  $r$  representa la tasa de interés del mercado.

Empíricamente, la aplicación del modelo ricardiano se puede expresar de la siguiente forma (Seo and Mendelsohn, 2007; citado por Tonconi, 2015):

$$VT = \beta_0 + \beta_1 Temp + \beta_2 Temp^2 + \beta_3 Precip + \beta_4 Precip^2 + \beta_5 Temp * Precip + \sum \lambda_j S_j + \varepsilon \dots (12)$$

Donde la variable dependiente VT es el valor de la tierra por hectárea, Temp y Precip son la temperatura y la precipitación, respectivamente. S representa un

conjunto de variables relevantes (socioeconómicas).  $\beta_k$  y  $\lambda_j$  son parámetros a ser estimados y  $\varepsilon$  es el término de error.

Los términos cuadráticos reflejan que la respuesta del valor de la tierra o de los beneficios económicos de los productores (VT), mediante la función ricardiana, a cambios en variables climáticas, puede ser no lineal. Es decir, a bajos niveles de temperatura, la decisión óptima del productor puede ser cultivar un producto determinado; no obstante, conforme la temperatura aumenta la rentabilidad marginal de dicho producto es decreciente hasta alcanzar un punto en el que se vuelve negativa. Es entonces cuando el productor puede tomar, como decisión óptima, la adopción de un nuevo cultivo adaptable a temperaturas mayores.

En ese sentido el modelo ricardiano asume un comportamiento adaptativo de los productores a lo largo del ciclo productivo intertemporal (Mendelsohn, Nordhaus and Shaw, 1994; citado por Tonconi, 2015).

Bajo este enfoque el método de estimación de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) mediante regresiones lineales y no lineales, permite evaluar los efectos del cambio climático sobre los beneficios económicos de los agricultores dado distintos escenarios climáticos.

De esta manera se determina como el cambio climático, a través de las variables climáticas (temperatura y precipitación), afecta el beneficio económico de los productores, bajo distintos escenarios climáticos.

De ahí que, el cambio en el valor de la tierra debido a un cambio marginal en temperatura (temp), este dado por:

$$\frac{\partial VT_t}{\partial Temp} = \beta_1 + 2 * \beta_2 Temp + \beta_3 Precip \dots (13)$$



Por lo tanto, el efecto anual de un cambio marginal de la variable climática, temperatura, será la suma de los efectos marginales de dicha variable en cada estación del año.

El cambio en los beneficios económicos (o valor de la tierra) de los productores como resultado de un cambio climático C0 a C1 esta dado por:

$$\Delta VT = VT(C1) - VT(C0) \dots (14)$$

Si  $\Delta VT < 0$ , hay evidencia de efectos negativos del cambio climático en la rentabilidad agrícola.

El modelo Ricardiano establece que la relación funcional básica entre la variable climática (en particular la temperatura) y el valor de la tierra es cóncava. Cuando se incrementa la temperatura también se incrementa la productividad agrícola, hasta un determinado punto, en que un nuevo incremento de la temperatura reduce el valor de la unidad productiva (Guzmán, 2015).

### 3.5 Metodología y fuentes de información

#### 3.5.1 Encuesta a productores

La información se obtuvo de una encuesta aplicada en 2013 a una muestra de 201 productores de un total de 1,381 agricultores apoyados en el programa procampo y pertenecientes a los municipios que integran la región de estudio: Ayapango, Amecameca y Tlamanalco. En la determinación de la muestra se utilizó la siguiente fórmula, con un nivel de confianza de 95% y un error de estimación de 4.8%:

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\left(\frac{\delta^2}{Z_{1-\alpha/2}^2}\right) + \sigma^2} \dots\dots (15)$$

donde:

$n$  = Tamaño de muestra

$N$  = Total de productores de maíz del listado

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  = Cuantil de la distribución normal que determina un nivel del 95% confianza (1.96)

$\delta$  = El límite máximo error de estimación

$\sigma^2$  = varianza aproximada de la variable de interés

### **3.5.2 Depuración de la información**

Dada las características de la investigación y de la heterogeneidad de la información, así como de la falta de información consistente en algunos productores, se consideró pertinente realizar una depuración de los agricultores y establecer una población objetivo enmarcada dentro de la región de estudio.

Dicha población consistió, en agricultores que hayan producido maíz criollo bajo condiciones de temporal, que contaran con al menos una hectárea en la producción de maíz, y que sus rendimientos fueran mayor o igual a una tonelada. Lo anterior, permitió realizar un mejor análisis entre los productores, por lo que en total se consideraron 71 agricultores de la región, mismos que se caracterizaron con la finalidad de determinar posteriormente el impacto económico del cambio climático en sus ingresos considerando el tamaño del predio y los niveles de productividad.

### **3.5.3 Identificación de variables socioeconómicas y técnica-productivas**

Dada la naturaleza de la investigación y de la información disponible en la encuesta, se identificaron y consideraron las siguientes variables en la caracterización de los productores y del sistema de producción del maíz: edad, sexo, nivel de educación, precio de venta del grano, superficie sembrada de maíz, rendimiento por ha de grano, cantidad de semilla utilizada por ha, preparación del

terreno, forma de siembra, aplicación de fertilizantes, control de malezas, control de plagas y forma de cosechar.

La información sobre producción, precios, superficie sembrada y rendimiento de maíz para diferentes años en el Estado de México, por Distrito de Desarrollo Rural (DDR), y en especial de los municipios que conforman la región de Amecameca, se obtuvo del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA, 2017), y comprende los años de 2003 a 2015.

### **3.5.4 Parámetros fisiológicos-productivos del cultivo de maíz**

El maíz requiere para su pleno desarrollo, un clima relativamente cálido, el granizo y las heladas afectan significativamente su producción. Las condiciones más favorables para su cultivo son (INEGI, 1997):

- Temperatura óptima.- 25-30 grados centígrados
- Humedad.- Mayor a 500 mm (bien distribuidos)
- Altitud.- Desde los 300 a 2500 msnm
- Latitud.- Desde 40 grados latitud norte a 40 grados latitud sur.
- Fotoperiodo.- De 11 a 14 horas luz (óptimo)

Aunque el maíz es originario de los Trópicos, el crecimiento óptimo del cultivo ocurre a temperaturas de 24 a 30 °C (Fassio *et al.*, 1998); por otro lado, se tiene que el límite inferior de temperatura sugerido para la siembra de maíz en zonas templadas es 13°C (Shaw, 1977; citado por Ruíz *et al.*, 2011).

### **3.5.5 Demarcación de las estaciones climáticas**

Con la finalidad de identificar las estaciones climáticas pertenecientes a la región y aquellas cercanas a ésta, se determinó usar un radio de cinco kilómetros (km) alrededor del límite del área de estudio, en total se detectaron diez estaciones; no obstante, sólo se seleccionaron siete que estaban en operación y en el Estado de

México: la estación 15103 San Pedro Nexapa, 15106 San Rafael, 15007 Ameca de Juárez, 15280, 15018 Colonia Manuel Ávila Camacho, 15094 San Luis Ameca, y 15252 Atlautla E-9 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Estaciones climatológicas demarcadas en la región de Amecameca

Clave	Nombre	Municipio	Estado	Situación	Altura*
00015103	San Pedro Nexapa	Amecameca	México	Operando	2620.00
00015106	San Rafael	Tlalmanalco	México	Operando	2530.00
00015007	Amecameca de Juárez	Amecameca	México	Operando	2470.00
00015015	Amecameca de Juárez	Amecameca	México	Suspendida	2480.00
00015280	Tlalmanalco	Tlalmanalco	México	Operando	2410.00
00015018	Col. Manuel A. Camacho	Ixtapaluca	México	Operando	2900.00
00015082	Rio frio	Ixtapaluca	México	Suspendida	2977.00
00015094	San Luis Ameca	Temamatla	México	Operando	2285.00
00015252	Atlautla E-9	Atlautla	México	Operando	2350.00
00021213	SAN MARTINITO	Tlahuapan	Puebla	Operando	2964.00

\*En msnm (metros sobre el nivel del mar).

Fuente: Elaboración propia con datos de INIFAP y SMN. 2018.

El mapeo de ubicación de las estaciones climáticas se realizó con el software ARCGIS versión 9.3, y se establecieron buffers (radios de distancia) de 5, 10,15 y 20 km (Figura 4).

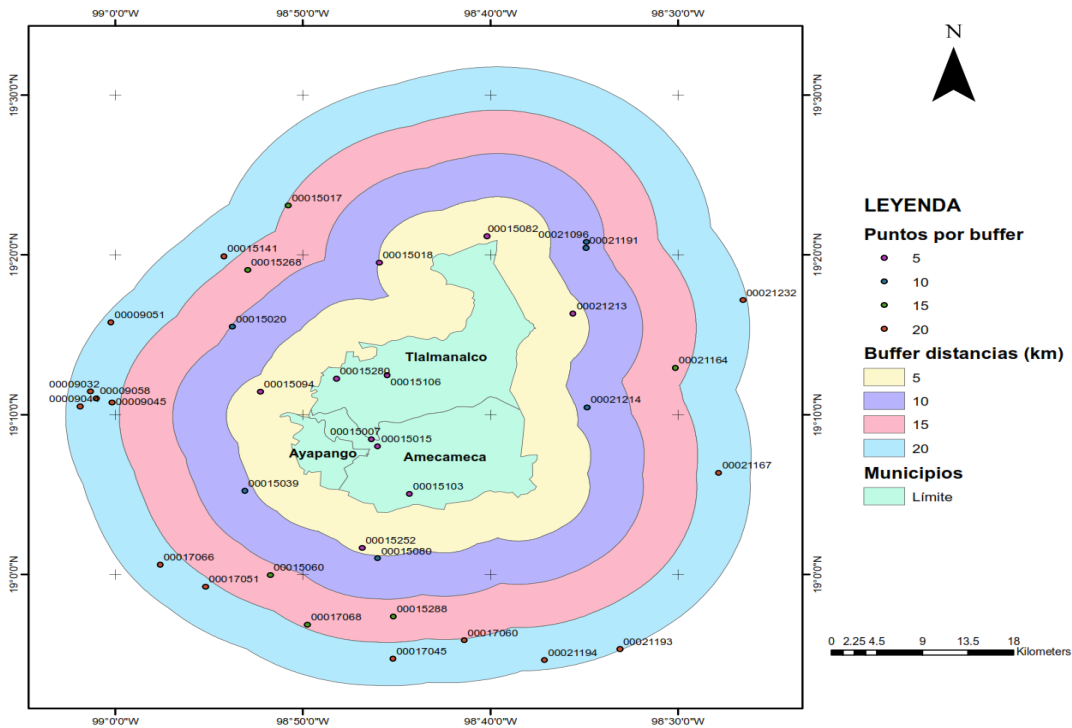


Figura 4. Ubicación de las estaciones climatológicas en la región Amecameca

Fuente: Elaboración con datos proporcionados por INIFAP, 2017.

Las variables climáticas consideradas fueron: la precipitación expresada en milímetros (mm), y la temperatura media, mínima y máxima, expresadas en grados centígrados (°C). Dicha información se obtuvo del Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, Agrícolas y Forestales (INIFAP) y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y comprende el periodo 1980-2015. Por otro lado, fue necesario transformar la información de estas variables que se encontraban de forma diaria a una periodicidad mensual y anual. En total se transformaron aproximadamente 150,000 datos distribuidos en las cuatro variables climáticas analizadas y en las siete estaciones seleccionadas.

Dado que no se tenía información completa en cada una de las estaciones identificadas, fue necesario e imprescindible, la agrupación de la información climática de estas estaciones meteorológicas, lo cual permitió estimar las medias de precipitación y temperatura a nivel región.

En esta agrupación se consideró la información climática disponible de cada estación, su ubicación geográfica, la proximidad al poblado y/o ejido al que pertenece el productor en la encuesta, y la altitud del lugar donde se encuentra la estación y el poblado respectivo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Diferencias de altitudes entre las estaciones climatológicas y las comunidades de los productores encuestados.

Municipio	Poblado	Altitud poblado (msnm)	Estación metereológica				
			San Pedro Nexapa 00015103*	Ameca de Juárez 00015007*	San Luis Ameca, Temamatla 00015094*	San Rafael Temamatla 00015106*	Tlamanalco, Tlamanalco 00015280*
			Altitud (msnm)	Altitud (msnm)	Altitud (msnm)	Altitud (msnm)	Altitud (msnm)
			<b>2620</b>	<b>2470</b>	<b>2285</b>	<b>2530</b>	<b>2410</b>
Amecameca	San Pedro Nexapa	2638	18	168	353	108	228
	Santiago Cuauhtenco	2516	-104	46	231	-14	106
	San Diego Huehucalco	2508	-112	38	223	-22	98
	Santa Isabel Chalma	2483	-137	13	198	-47	73
	San Antonio Zoyatzingo	2473	-147	3	188	-57	63
	San Francisco Zentlalpan	2456	-164	-14	171	-74	46
	Amecameca	2420	-200	-50	135	-110	10
Ayapango	San Martin Pahuacán	2536	-84	66	251	6	126
	San Bartolomé Mihuacán	2519	-101	49	234	-11	109
	San Juan Evangelista Tlmapa	2456	-164	-14	171	-74	46
	San Cristóbal Poxtla	2447	-173	-23	162	-83	37
	Ayapango	2441	-179	-29	156	-89	31
Tlamanalco	San Antonio Tlaltecahuacán	2494	-126	24	209	-36	84
	San Juan Atzacualoya	2469	-151	-1	184	-61	59
	Tlamanalco	2392	-228	-78	107	-138	-18
	San Lorenzo Tlalmiminolpan	2369	-251	-101	84	-161	-41

Fuente: Elaboración propia con datos de SMN, 2018.

### 3.5.6 Parámetros climáticos utilizados en la evaluación del impacto

Los parámetros de impacto climático (cambios) en temperatura y precipitación que se utilizaron en los modelos de regresión que mejor explicaron la relación funcional entre el rendimiento del maíz y las variables climáticas: temperatura y precipitación en la región estudio son los obtenidos por Ruiz *et al.*, (2011).

En dicho documento, se considera cinco zonas agrícolas productoras de maíz de temporal en México, entre las que se encuentran los Valles Altos (2 200 a 2 600 msnm) y los Valles muy Altos (> 2 600 msnm); las cuales corresponden a áreas de adaptación del maíz definidas en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

De acuerdo con Ruíz *et al.*, (2011), con el sistema de información de cambio climático (SICC), basado en la utilización del modelo ensamble propuesto por Magaña y Caetano (2007), y con el sistema de información ambiental nacional (SIAN), ambos del INIFAP, calcularon, entre otras variables, las desviaciones de la temperatura media y la precipitación en los meses mayo-octubre, entre la climatología 1961-2003 y las décadas 2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060, bajo el escenario de emisión de gases efecto invernadero A2 considerado por el IPCC (2007).

Los resultados de ese estudio para Valles Altos se muestran en el Cuadro 7, donde se observa, para las tres décadas futuras, que la temperatura media aumentará sostenidamente hasta alcanzar en la década 2051-2060, un incremento de 1.9 °C; en comparación con la temperatura media de referencia (base) del periodo 1961-2003. Para la década de 2011-2020 el incremento será de 0.8 °C; en cambio para la precipitación se tendrá una disminución de 28 mm.

Cuadro 7. Valores medios de temperatura y precipitación, mayo-octubre en zonas productoras de maíz en Valles Altos.

Periodo	Variable	
	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)
1961-2003	16.6	680
2011-2020	17.4	652
2031-2040	17.8	657
2051-2060	18.5	649

Fuente: Elaborado con base a Ruíz *et al.*, (2011).

Nota: Bajo un escenario de cambio climático A2.

### 3.5.7 Parámetros económicos utilizados en la evaluación del impacto

Actualmente existe un debate sobre que tasa de interés de descuento utilizar en la cuantificación de los impactos del cambio climático (Stern, 2007 y Nordhaus, 2008). De ahí que, en esta investigación se haya utilizado en la evaluación de la variación de los beneficios económicos de los productores las tasas de descuento

0.5, 2.0 y 4.0% sugeridas e implementadas en los estudios realizados por la CEPAL (2009), Galindo (2009) y Orihuela (2014); así como la tasa de 9.5% usada en los estudios de evaluación de impactos económicos de las tecnologías generadas por el INIFAP en el cultivo de maíz en México (González *et al.*, 2003, 2008 y 2011).

De acuerdo con González *et al.*, (2011), la tasa real de descuento de 9.5% corresponde “a la tasa media real que reciben los flujos de capital extranjero, tanto de forma de inversión de portafolio como en la forma de inversión extranjera directa” en México.

En los estudios de análisis del cambio climático, es usual la implementación de una tasa de descuento baja, ya que esta asigna una relevancia significativa al futuro y es más consistente con un concepto de desarrollo sostenible (Stern [2007], citado por Galindo y Caballero, 2011)

Se identificó y analizó una línea base (periodo 2003-2015), a partir del cual se generaron los modelos de la función de producción que permitió estimar, en primera instancia, los efectos del cambio climático en el rendimiento del maíz; a pesar, de que éste fenómeno ya está sucediendo, y que la producción de los cultivos se encuentran inmersos en él; estudios de análisis retrospectivo del clima en áreas agrícolas de México lo demuestran (Ruíz *et al.*, 2000; Zarazúa 2011; Medina *et al.*, 2011).

Con los parámetros estimados de los modelos seleccionados de las funciones de producción generadas, se estimaron las trayectorias del impacto del cambio climático, incorporando los cambios en temperatura y precipitación pronosticados por Ruiz *et al.*, (2011) para el cultivo de maíz en Valles Altos de México (Cuadro 7).



Las diferencias entre las trayectorias con y sin cambio climático, actualizada con una tasa de descuento, nos reflejan las consecuencias (impactos) económicas del cambio climático.

Finalmente, de acuerdo con Orihuela (2014), el valor actual del cambio climático en los beneficios económicos se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$\Delta B = \sum_{t=1}^n \left[ \frac{(P_t - C_t) * (R_{Cct} - R_{Scct})}{1 + d} \right] \dots \dots \dots (16)$$

donde:

- $\Delta B$  = Impacto en los beneficios
- $P_t$  = Precio del cultivo
- $C_t$  = Costo de producción
- $R_{Cct}$  = Rendimiento con cambio climático
- $R_{Scct}$  = Rendimiento sin cambio climático
- $d$  = tasa de descuento

### 3.5.8 Determinación de los costos de producción

En la determinación de los costos de producción se consideraron una serie de actividades, entre las que se encuentran la preparación del terreno, la siembra, las labores culturales, la fertilización, el control de malezas, y la cosecha.

La información provino de dos fuentes: datos de encuestas de campo aplicadas a productores (2013) y del documento: Actualización de la caracterización de los sistemas producto-territorio: caso maíz y trigo en la región Amecameca (SINACATRI, 2013).

### 3.5.9 Variabilidad del precio de maíz y medición del riesgo

En economía, la variable utilizada para medir el riesgo en la producción de un producto es el precio, mismo que puede ser analizado a través de su

comportamiento. En ese sentido, se calculó y analizó la variabilidad (comportamiento) del precio real del maíz a través de su tasa de crecimiento continua (2003-2015), asimismo se analizó la media, la varianza y la desviación estándar, como medidas de tendencia, volatilidad y riesgo (Brambila, 2011).

El deflactor que se utilizó para convertir los precios nominales a reales fue el Índice Nacional de Precios al Productor para el maíz (2012=100) obtenido de INEGI (2018), por lo que se hizo un cambio de base a 2015=100.

La media de la tasa de crecimiento continua de los precios reales se obtuvo de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{PR_t}{PR_{t-1}}\right) = \ln(1 + r) = \hat{r} \dots (17)$$

donde:

$\bar{X}$  = media

$\ln$  = logaritmo natural

$PR$  = Precio real

$\ln\left(\frac{PR_t}{PR_{t-1}}\right) = \ln(1 + r) = \hat{r}$  = tasa de crecimiento continua

La varianza como indicador de la volatilidad, se obtuvo de:

$$\Gamma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \dots (18)$$

donde:

$\Gamma^2$  = varianza

$X_i$  = valor de la variable  $x$  en el periodo  $i$

$\bar{X} = \text{media}$

$n = \text{total de periodos}$

Y la desviación estándar, como indicador del riesgo de la siguiente manera:

$$\Gamma = \sqrt{\Gamma^2} \dots (19)$$

Se asumió que los datos presentan una distribución normal y que opera el Teorema de Límite Central (Brambila, 2011). La distribución normal tiene la siguiente función:

$$\phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\Gamma^2}} e^{-\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\bar{X}_i - \mu}{\Gamma}\right)^2} \dots (20)$$

Con la información anterior y con el uso de la estandarización (Fórmula 21) y de las tablas de probabilidades de la distribución normal estándar, se estimó el riesgo de que los precios de maíz bajen un 10%.

$$Z = \frac{Xi - \bar{X}}{\Gamma} \dots (21)$$

### 3.5.10 Clasificación del proceso de producción de maíz en la evaluación

Los cambios de temperatura y precipitación son de suma importancia en el desarrollo de los cultivos. Granados y Sarabia (2013), muestra que ante cambios en la temperatura y precipitación, producto del cambio climático, el desarrollo fenológico del maíz en el Distrito de Desarrollo Rural de Toluca, Estado de México se verá afectado negativamente, debido a que se afectará principalmente la floración, la cual puede reducir de manera acentuada su producción.

Considerando lo anterior, y con la finalidad de obtener de manera más precisa el efecto de la temperatura y la precipitación sobre el rendimiento del maíz en la

región, se clasificó la información en tres periodos o etapas, considerando el ciclo biológico de este cultivo y el proceso de producción: época de siembra (mayo-junio), época de crecimiento (julio-septiembre) y época de cosecha (octubre-noviembre) (Cuadro 8).

Cuadro 8: Clasificación del proceso de producción del cultivo de maíz en Amecameca

Producción de maíz en temporal							
Etapa	Siembra		Crecimiento			Cosecha	
Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Una subdivisión similar fue implementada por Guzmán (2015), al clasificar el ciclo agrícola de los cultivos en época de siembra, de crecimiento y de cosecha, así como en temporada de seca y temporada de lluvia, al evaluar el impacto económico del cambio climático en la agricultura en la región de Cusco, Perú.

### 3.5.11 Especificación del modelo

Estudios de impacto económico del cambio climático en la agricultura a través de una función de producción (o modelo agronómico denominado por algunos autores) han demostrado que la relación funcional entre los rendimientos de los cultivos, como en el caso del maíz, es cuadrática (Mendelsohn *et al.* , 1994; Ramírez *et al.*, 2009; Galindo, 2009; Orihuela, 2014; Guzmán, 2015), lo que indica que, un incremento en la temperatura aumenta el rendimiento pero de manera decreciente hasta llegar a un punto máximo, después del cual, un incremento de la temperatura impacta negativamente disminuyendo la productividad, de igual manera sucede con la precipitación (Figura 5: a, b) .

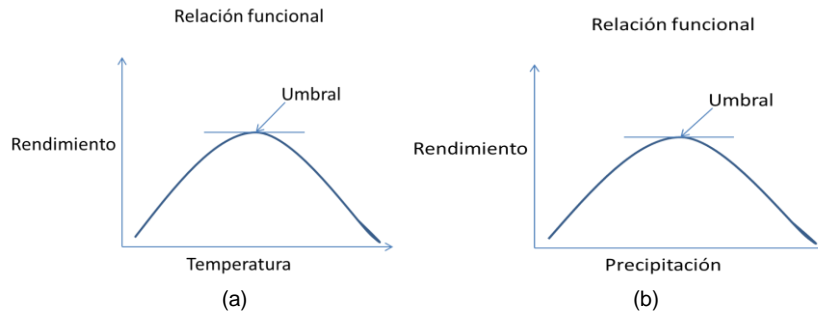


Figura 5. Relación funcional: rendimiento, temperatura y precipitación

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dado lo anterior, se corrieron modelos cuadráticos en el software STATASE.exe ver. 13, con la información sobre rendimiento disponible a nivel región: Amecameca; Ayapango y Tlamanalco, periodo 2003-2015, obtenida a través del SIAP (2017), considerando las variables climáticas: precipitación, temperatura media, mínima y máxima, así como las etapas o periodos del ciclo biológico del cultivo y proceso de producción definidos en la investigación: época de siembra, crecimiento y cosecha.

En la selección del modelo de mejor ajuste se consideró criterios establecidos en estudios de esta naturaleza (Orihuela, 2014; Guzmán, 2015): signo esperado en la teoría económica, umbral de las variables climáticas acorde a los parámetros técnicos, modelo estadísticamente significativo, y parámetros individuales del modelo estadísticamente también significativos.

Los modelos cuadráticos planteados fueron:

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_1 Precip_{ilt} + \beta_2 Precip_{ilt}^2 + \beta_3 Temp\ me_{ilt} + \beta_4 Temp\ me_{ilt}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (22)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_1 Precip_{ilt} + \beta_2 Precip_{ilt}^2 + \beta_5 Temp\ mín_{ilt} + \beta_6 Temp\ mín_{ilt}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (23)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_1 Precip_{ilt} + \beta_2 Precip_{ilt}^2 + \beta_7 Temp\ máx_{ilt} + \beta_8 Temp\ máx_{ilt}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (24)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_1 Precip_{ilt} + \beta_2 Precip_{ilt}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (25)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_3 Temp_{me_{ilt}} + \beta_4 Temp_{me_{ilt}}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (26)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_5 Temp_{mín_{ilt}} + \beta_6 Temp_{mín_{ilt}}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (27)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_7 Temp_{máx_{ilt}} + \beta_8 Temp_{máx_{ilt}}^2 + \varepsilon_{ilt} \dots \dots \dots (28)$$

donde:

- $R_{it}$  = Rendimiento del cultivo de maíz en la región  $i$  en el tiempo  $t$
- $Precip_{ilt}$  = Precipitación en la región  $i$  en la etapa  $l$  en el tiempo  $t$
- $Temp_{a_{ilt}}$  = Temperatura  $a$  en la región  $i$  en la etapa  $l$  en el tiempo  $t$
- $i$  = Región: Amecameca, Ayapango o Tlamanalco
- $l$  = etapa productiva: siembra, crecimiento o cosecha
- $t$  = tiempo (año)
- $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_4$  = Coeficientes de estimación
- $\varepsilon_{ilt}$  = Término aleatorio en la región  $i$  en la etapa  $l$  en el tiempo  $t$

La estimación de los parámetros se realizó a través del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), asumiendo los supuestos de  $E(\mu_i | X_i) = 0$ ,  $cov(\mu_i, \mu_j) = 0 \quad i \neq j$ , y  $var(\mu_i | X_i) = \sigma^2$ . (Gujarati, 1992, Montgomery *et al.*, 2004).

La estimación de los umbrales y los efectos marginales en precipitación y temperatura se obtuvo al resolver las ecuaciones obtenidas en los modelos cuadráticos, a través del cálculo diferencial mediante el uso de las derivadas (González, 1992; Guzmán, 2015), tal y como se observa en las siguientes expresiones:

Efecto marginal de la precipitación:

$$\frac{\partial R_{it}}{\partial Precip_{ilt}} = \beta_1 + 2\beta_2 Precip_{ilt} \dots \dots \dots (29)$$

$$\frac{\partial'' R_{it}}{\partial \text{Precip}_{it}} < 0 \text{ es un punto máximo ..... (30)}$$

Efecto marginal de la temperatura:

$$\frac{\partial R_{it}}{\partial \text{Temp}_{it}} = \beta_1 + 2\beta_2 \text{Temp}_{it} \dots \dots (31)$$

$$\frac{\partial'' R_{it}}{\partial \text{Temp}_{it}} < 0 \text{ es un punto máximo ..... (32)}$$

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características del productor

#### 4.1.1 Edad y sexo

La edad promedio de los productores fue de 63.5 años, de los cuales el 69% son hombres. Se observa una edad avanzada de los productores en esta región, 31% son mayores de 70 años; 26.8% tienen entre 61 y 70 años; y únicamente 8.5% tienen 40 o menos años. La edad máxima es de 92 años y la mínima de 36 años.

Cuadro 9. Edad y sexo de los productores

Edad (años)	Sexo				Total	
	Hombre		Mujer			
	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Porcentaje	Porcentaje acumulado
≤ 40	5.6	5.6	2.8	2.8	8.5	8.5
41-50	1.4	7.0	5.6	8.5	7.0	15.5
51-60	25.4	32.4	1.4	9.9	26.8	42.3
61-70	19.7	52.1	7.0	16.9	26.8	69.0
Más de 70	16.9	69.0	14.1	31.0	31.0	100.0
Total	69.0		31.0		100.0	

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

#### 4.1.2 Escolaridad

Con relación a la escolaridad, los productores muestran una escolaridad baja, el 69% de los productores tiene como nivel máximo de estudios la primaria, asimismo, destaca que 16.9% de los productores no cuenta con ningún nivel de estudios y que el nivel más alto de escolaridad representan un porcentaje muy bajo con 4.2% (Cuadro 10).



Cuadro 10. Escolaridad de los productores

Escolaridad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Ninguna	16.9	16.9
Primaria incompleta	26.8	43.7
Primaria completa	25.4	69.0
Secundaria incompleta	5.6	74.6
Secundaria completa	15.5	90.1
Carrera técnica	2.8	93.0
Preparatoria incompleta	1.4	94.4
Preparatoria completa	1.4	95.8
Licenciatura completa o más	4.2	100.0
Total	100.0	

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

Por otro lado, se observa la falta de organización dentro de este grupo de productores analizados, ya que ninguno mencionó pertenecer a una organización; es muy probable que el nivel educativo y una edad avanzada influyan en este aspecto; sin embargo, hay que tener presente que “la unión de productores individuales sin reconocimiento, conocimiento, colaboración, cooperación y asociación entre ellos no indica que sean un grupo organizado, en este caso es únicamente un grupo de productores individuales cuyo objetivo es la obtención del recurso/apoyo en cuestión” (Cuevas *et al.*, 2011).

Con respecto a los subsidios de apoyo gubernamental, son beneficiarios del programa Procampo, y algunos de otros programas como son los apoyos para la compra de fertilizante.

## 4.2 Características del sistema de producción

### 4.2.1 Superficie sembrada de maíz

Los productores siembran una superficie media de 2.5 ha, cuya tenencia en su mayoría es propiedad ejidal, ésta representa el 67.6% del total, la restante superficie es pequeña propiedad (32.4%). De manera específica, en el Cuadro 11,

se observa que el 69.0% de los agricultores cultivaron una superficie de maíz de 1 a 2 ha, y únicamente el 4.2% sembró una superficie mayor a 5 ha.

Cuadro 11. Superficie sembrada de maíz

Superficie (Ha)	Porcentaje	Porcentaje acumulado
≥ 1 - 2	69.0	69.0
2.1 - 4	11.3	80.3
4.1 - 5	15.5	95.8
> 5.1	4.2	100.0
Total	100.0	

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

#### 4.2.2 Tipos de maíz sembrados

Los tipos de maíz más sembrados fueron el maíz blanco con el 84.5% de los productores; seguido de maíz azul con 14.1%; y maíz amarillo con 1.4% (Cuadro 12).

Cuadro 12. Tipos de maíz sembrados en Amecameca

Tipos de maíz	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Maíz blanco	84.5	84.5
Maíz azul	14.1	98.6
Maíz amarillo	1.4	100.0
Total	100.0	

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

Resalta la importancia del maíz azul, en el cual existe un nicho de mercado específico, dicha producción se destina principalmente para la elaboración de platillos típicos (tortillas, tlacoyos, etc.). De acuerdo con Hellin *et al.*, (2013), el 80% de la producción de maíz de colores en 2010 provino de zonas de temporal donde el rendimiento medio es de 1.6 t ha<sup>-1</sup>, y el 20% restante se produjo en parcelas irrigadas con un rendimiento promedio de 3.8 t ha<sup>-1</sup>.

La producción de maíz criollo en esta región es sumamente importante. Estudios previos sobre el mercado de las semillas en el Estado de México (CIMMYT, 2011), indican que el 85% de agricultores usa semilla criolla.

Por otra parte, se tiene que el 93% de la semilla utilizada por los agricultores proviene de su propia parcela y fue guardada por ellos mismos de la siembra del ciclo anterior. Lo anterior, destaca la importancia del productor en la conservación y generación de la diversidad genética *in situ* de este cultivo en México (Sahagún *et al.*, 2009); ya que, por generaciones, los agricultores han cultivado diversos tipos de maíces criollos y han introducido nuevas y diferentes fuentes de variación genética disponible (Suketoshi *et al.*, 2009).

La cantidad de semilla criolla utilizada para la siembra de maíz fue de 26.6 kg ha<sup>-1</sup>; cuyo precio por kg que pagaron aquellos productores que compraron la semilla fue de \$8.8 pesos.

Es importante mencionar, que para la mayoría de los productores, no es una actividad común asistir a ferias de semillas locales y visitas a parcelas demostrativas con el objetivo de conocer nuevos tipos de semillas de maíz que puedan sembrar, y tampoco es común, que reciban muestras de semillas nuevas por parte de los distribuidores de semillas, tal y como se observa en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Actividades realizadas por los productores para conocer nuevos tipos de semillas de maíz (Porcentaje)

Actividades	Muy común	Bastante común	No es común
Asistir a ferias de semillas locales	2.8	11.3	85.9
Preguntar a sus vecinos que semillas puede usar	2.8	36.6	60.6
Asistir a parcelas demostrativas	2.8	9.9	87.3
Recibir muestras de semillas nuevas de proveedores y/o distribuidores		4.2	95.8

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

#### 4.2.3 Destino de la producción de maíz

Los agricultores mencionaron que destinaron sus productos del maíz principalmente a acopiadores locales y autoconsumo (59.2%). Por otro lado, el 25.4% fue exclusivamente para autoconsumo, y la mayor parte de los que vendieron también usaron una parte de su producción para el autoconsumo familiar.

Cuadro 14. Destino de los productos del maíz

Destino	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Autoconsumo y acopiadores locales	59.2	59.2
Autoconsumo	25.4	84.6
Acopiadores locales	4.2	88.8
Autoconsumo y procesadores nixtamaleros de la masa y la tortilla	4.2	93.0
Procesadores nixtamaleros de la masa y la tortilla	4.2	97.2
Autoconsumo y otras industrias del maíz	1.4	98.6
Autoconsumo, acopiadores locales y procesadores nixtamaleros de la masa y la tortilla	1.4	100.0
Total	100.0	

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

#### 4.2.4 Productos del maíz más importantes para el ingreso de los productores

El principal producto obtenido de la siembra de maíz es el grano; sin embargo, la hoja para tamal es un subproducto importante. De acuerdo con los datos, el 58.2% de los agricultores mencionó que la obtención de grano es lo que más contribuye en su ingreso, seguido de la hoja para tamal (23%).

Cuadro 15. Productos del maíz con mayor importancia en el ingreso de los productores en Amecameca

Productos	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Grano	58.2	58.2
Hoja para tamal	23.0	81.2
Forraje (silo y zacate)	18.0	99.2
Otro	0.8	100
Total	100.0	

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

La importancia de la hoja para tamal radica en la existencia de un nicho de mercado muy focalizado en la región de Amecameca, cuyo destino principal es la central de abastos de Iztapalapa de la ciudad de México; de ahí que no es de extrañar, que este producto del maíz sea considerado por el agricultor como una fuente importante de su ingreso.

#### 4.2.5 Rendimiento de grano

Existe una diversidad de materiales criollos en la región, con una consecuente variación en el rendimiento de grano. El rendimiento medio de grano de maíz criollo fue de 1.57 t ha<sup>-1</sup>, inferior a la media nacional obtenida, en condiciones de temporal, en ese mismo año (2.24 t ha<sup>-1</sup>) (SIAP, 2017), y el 59.2% de los productores obtuvieron rendimientos menores a la media, lo cual indica la baja productividad en la región. El uso de semilla de maíz criollo, generalmente presenta problemas de acame y baja productividad (Barrera *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2009)

Cuadro 16. Rendimiento de grano de maíz (t ha<sup>-1</sup>)

Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Porcentaje	Porcentaje acumulado
≥1.0 - 1.5	59.2	59.2
1.6 – 2.0	31.0	90.1
2.1 – 2.5	7.0	97.2
2.6 - 3.0	2.8	100.0
Total	100.0	

Fuente: Elaborado con información de encuestas. 2018.

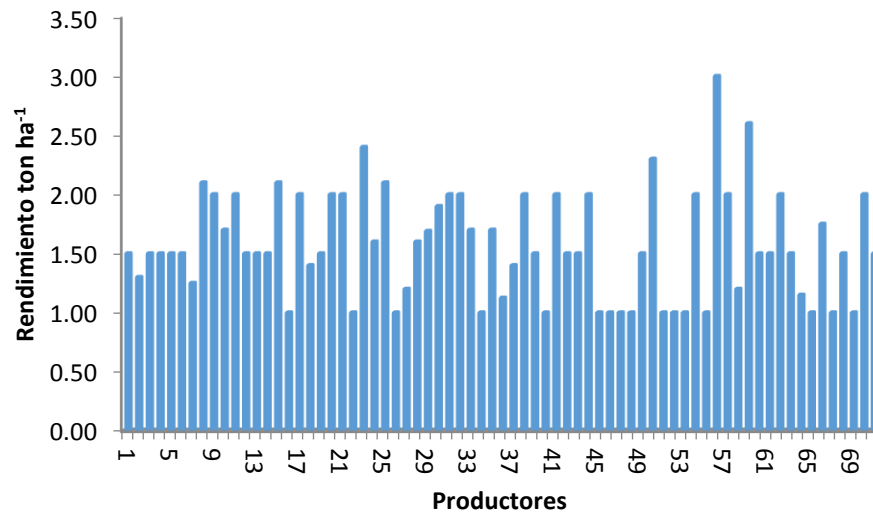


Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en Amecameca, Estado de México

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas. 2018.

#### 4.2.6 Prácticas de cultivo

Con respecto a las prácticas de cultivo que los agricultores realizan en el maíz se tiene lo siguiente: 64.8% realizan la preparación del terreno (barbecho, rastreo, etc.) de forma mecanizada, 56.3% realizan la siembra de manera manual, 64.8% aplican fertilizantes químicos, 40.8% controlan las malezas de manera manual, 77.5% no aplican ningún control de plagas, y 95.8% de los productores realizaron la cosecha de manera manual.

Cuadro 17. Prácticas de cultivo (Porcentaje)

Práctica	1	2	3	4
Preparación del terreno <sup>1/</sup>	-	12.7	64.8	22.5
Cómo realiza la siembra <sup>2/</sup>	56.3	36.6	7.0	-
Aplica fertilizante <sup>3/</sup>	-	64.8	4.2	31.0
Control de malezas <sup>4/</sup>	5.6	40.8	40.8	12.7
Control de plagas <sup>5/</sup>	22.5	77.5	-	-
Cómo levanta la cosecha <sup>6/</sup>	95.8	1.4	2.8	-

<sup>1/</sup> 1=No realiza, 2=Tracción animal, 3=Mecanizada, 4=Ambas

<sup>2/</sup> 1=Manual, 2=Mecanizada, 3=Ambas

<sup>3/</sup> 1=No aplica, 2=Químico, 3=Orgánico, 4=Ambos

<sup>4/</sup> 1=No realiza, 2=Manual, 3=Químico, 4=Manual y químico

<sup>5/</sup> 1=Sí, 2=No

<sup>6/</sup> 1=Manual, 2=Mecanizada, 3=Ambas

Fuente: Elaborado con información de encuestas. 2018.

### 4.3 Costo de producción de maíz

En la determinación de los costos de producción se consideraron una serie de actividades, entre las que se encuentran la preparación del terreno, la siembra, las labores culturales, la fertilización, el control de malezas, y la cosecha.

La información provino de dos fuentes: datos de encuestas de campo aplicadas a productores (2013) y del documento: Actualización de la caracterización de los sistemas producto-territorio: caso maíz y trigo en la región Amecameca (SINACATRI, 2013).

El costo medio de producción de maíz por ha en la región de Amecameca, actualizado (2015=100) con información de SINACATRI (2013), se estima en \$6,404 ha<sup>-1</sup> (Cuadro 18), dentro de cual, el costo de la cosecha es el más importante y representa el 52.8% del costo total. El costo por tonelada se estima en \$2,287, considerando un rendimiento de 2.8 t ha<sup>-1</sup> para maíz criollo (SINACATRI, 2013).

Cuadro 18. Costo de producción de maíz en la región de Amecameca

Actividad	Descripción	Cantidad	Costo por ha (Pesos 2015)**	Porcentaje
Preparación del terreno	Maquila (barbecho, rastra)	1	1,088	17.0
Siembra	Maquila (50-60 mil semillas, y 250 kg. de Fertilizante)	1	604	9.4
Labores culturales	Maquila/escarda	1	242	3.8
Fertilización	Mano de obra (250 kg. de Fertilizante)	1	363	5.7
Control de malezas	Maquila (Herbicida 5-7 litros)	1	725	11.3
Cosecha	Maquila/cosechadora/jornales	1	3,383	52.8
Total			6,404	100.0

\*Incluye amogotada. \*\* Actualizado con el Índice de Precios al Productor-Maíz 2015=100.

Fuente: Elaborado con base a SINACATRI (2013) e información de campo (2013).

Por otro lado, con información de las encuestas de campo (2013), se estima un costo medio de \$5,184 por ha. Dada la naturaleza de la investigación se hizo necesario calcular el costo de producción de una tonelada por hectárea como unidad de medida comparativa entre los productores encuestados.

Considerando los anterior, los resultados muestran un costo medio por tonelada producida de \$3,302, con un rendimiento de 1.57 t ha<sup>-1</sup>. La variabilidad de los costos obtenidos por productor se observa en la Figura 7. La diferencia en costos se sustenta en las distintas actividades que realiza el agricultor en el proceso de producción, así como en los distintos niveles de productividad que obtienen.

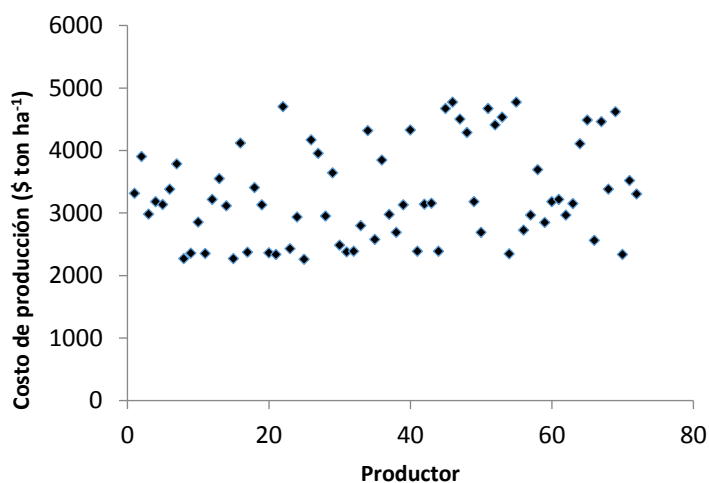


Figura 7. Costo de producción de maíz por tonelada en Amecameca (Pesos 2015)

Fuente: Elaboración propia con información de campo. 2018.

#### 4.4 Ingresos en la producción de maíz

Al igual que los costos de producción, en los ingresos de los productores, con la información de las encuestas, se observa una gran variabilidad, debido a los niveles de productividad obtenidos por cada uno de los agricultores, el efecto de la variabilidad del precio de venta del grano de maíz se neutralizó al estimar y usar un precio medio a nivel región de \$ 5,507 t (2015=100).



No obstante, a lo anterior, la variabilidad del precio es una variable importante que requiere de análisis, dada la incertidumbre que esta genera para el productor. En ese sentido se analiza más adelante este aspecto y se estima el riesgo que implica que el precio baje un 10% o más.

Los resultados arrojan un ingreso medio por hectárea de \$8,646 pesos, por intervalos de productividad los ingresos se detallan en el Cuadro 19, y por cada productor, los ingresos se observan en la Figura 8.

Cuadro 19. Ingresos en la producción de maíz en Amecameca

Rendimiento de maíz (t ha <sup>-1</sup> )	Ingreso medio (Pesos 2015)
≥1.0 - 1.5	6,915
1.6 – 2.0	10,424
2.1 – 2.5	12,185
2.6 - 3.0	16,579
Total	8,646

Fuente: Elaboración propia con información de campo. 2018.

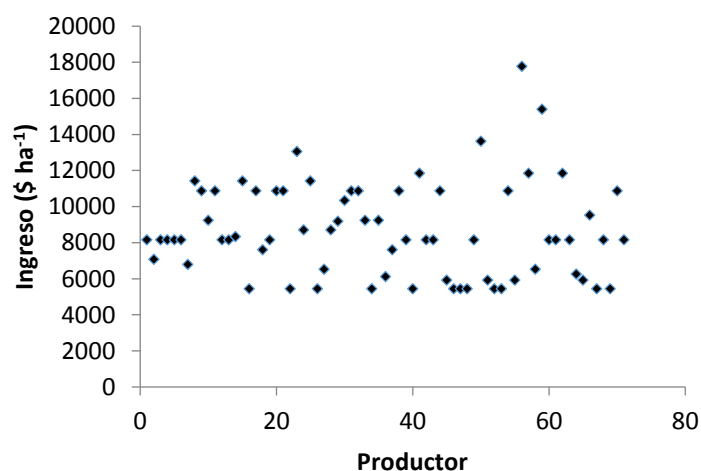


Figura 8. Ingresos de los productores de maíz por hectárea en Amecameca (Pesos 2015)

Fuente: Elaboración propia con información de campo. 2018.

#### 4.5 Ganancias en la producción de maíz

Las ganancias de los agricultores dependen de los ingresos y los costos de producción de maíz. En promedio, la ganancia media fue de \$ 3,125 ha. La

variabilidad de estas ganancias con relación a la productividad se describe en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Ganancias en la producción de maíz en Amecameca

Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Ganancia media (Pesos 2015)
≥1.0 - 1.5	2,252
1.6 – 2.0	5,516
2.1 – 2.5	6,924
2.6 - 3.0	8,786
Total	3,776.5

Fuente: Elaboración propia con información de campo. 2018.

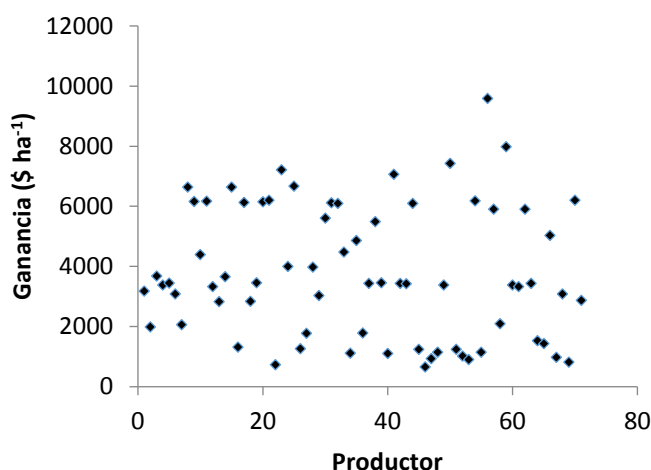


Figura 9. Ganancias por hectárea en la producción de maíz en Amecameca

Fuente: Elaboración propia con información de campo. 2018.

#### 4.6 Variabilidad del precio del maíz

Con relación al precio real del maíz, durante el periodo 2003-2015, se observa en la Figura 10, una tendencia a la baja, misma que se acentúa en los años 2004, 2008 y 2014, a pesar de las recuperaciones en 2006, 2009 y 2012. En este periodo el precio disminuyó a una tasa media anual de -0.6%, al pasar de \$3,834 en 2003 a \$3,585 en 2015. El precio medio real de maíz estimado fue de \$3,841.8 t.

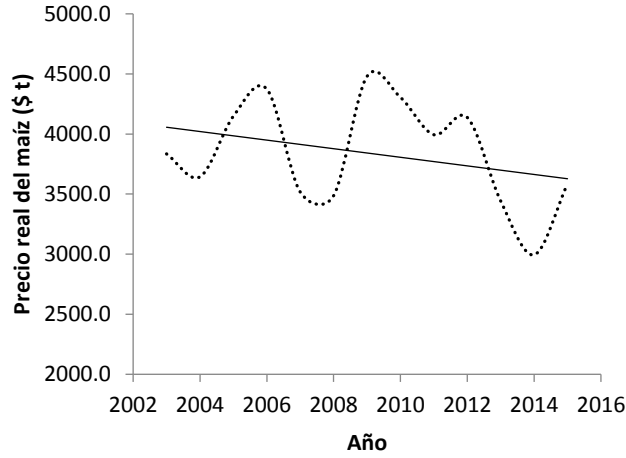


Figura 10. Precio real del maíz en Amecameca Periodo (2004-2015)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La tasa de crecimiento continua refleja la variabilidad (comportamiento) del precio, en la Figura 11, se observan los periodos de decrecimiento del precio real del maíz (tasas negativas) y crecimiento (tasas positivas). En el año 2009 se obtuvo la tasa más alta con 25%, mientras que la tasa más baja fue en 2007 con -21.8%.

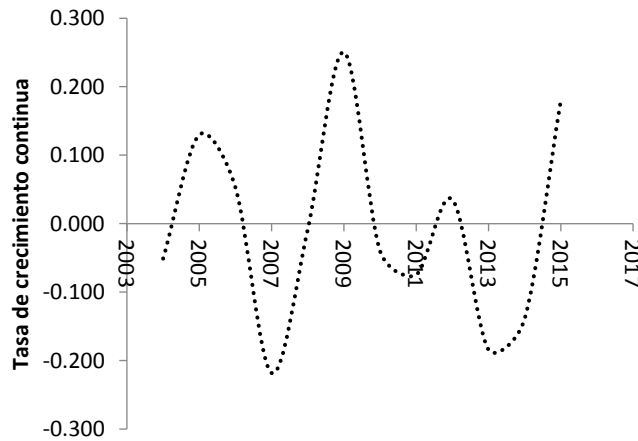


Figura 11. Tasa de crecimiento del precio real de maíz en Amecameca (2004-2015)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como medidas de tendencia, volatilidad y riesgo del precio real del maíz, se estimó la media (-0.006), la varianza (0.021) y la desviación estándar (0.143); así como la curva de distribución de los precios reales, la cual se aproximó a una

normal, bajo los supuestos previamente establecidos en la parte metodológica (Brambila, 2011), tal y como se observa en la Figura 12:

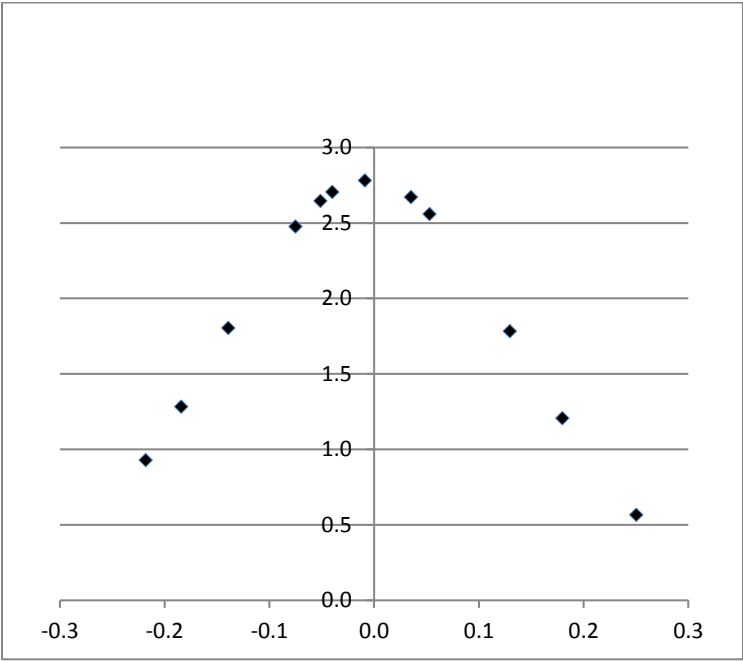


Figura 12. Distribución normal de la tasa crecimiento continua del precio real de maíz en Amecameca (2004-2015)

Fuente: Elaboración propia, 2018, con base a Brambila (2011).

Con base a los resultados, se estima, con el uso de la estandarización, un riesgo o probabilidad de que el precio real del maíz disminuya en un 10% o más de 25.5% (Cuadro 21).

$$\frac{-0.10 - (-0.006)}{0.143} = -0.658 = Z \dots\dots (33)$$

$$P(X_i < -0.10) = P(Z < -0.658) = 0.255 \dots\dots (34)$$

Cuadro 21. Riesgo en la disminución del precio real de maíz en Amecameca

Disminución precio (%)	Valor Z	Probabilidad	Disminución precio (%)	Valor Z	Probabilidad
5	-0.3096	0.378	11	-0.7280	0.233
6	-0.3793	0.352	12	-0.7977	0.213
7	-0.4490	0.327	13	-0.8674	0.193
8	-0.5188	0.302	14	-0.9372	0.174
9	-0.5885	0.278	15	-1.007	0.157
10	-0.6582	0.255	16	-1.077	0.141

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### 4.7 Variabilidad climática

En general, la precipitación, la temperatura media, mínima y máxima se incrementaron en los últimos siete quinquenios (1980-2015). La precipitación fue la de menor crecimiento con una tasa de 0.23%, al pasar de 874.48 mm en 1980-1985 a 886.53 mm en 2010-2015; en cambio la temperatura mínima fue la que más aumentó con 2%, al pasar de 6.56 a 7.39 °C (Cuadro 22).

Por otra parte, con respecto a la temperatura media, se observa un aumento en ese mismo lapso de tiempo, ésta creció a una tasa de 1.7%, al pasar de 13.81°C en el quinquenio 1980-1985 a 15.26°C en 2000-2015; no obstante, este crecimiento ha sido heterogéneo. En el caso de la temperatura máxima, se observa también un incremento del orden de 1.6%. (Cuadro 22).

Cuadro 22. Variables climáticas: precipitación y temperatura en Amecameca

Periodo	Precipitación** (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)
1980-1985	874.48	6.56	21.06	13.81
1985-1990	779.89	6.65	20.88	13.77
1990-1995	850.31	7.36	21.03	14.19
1995-2000	796.22	6.85	21.75	14.30
2000-2005	802.65	6.94	21.56	14.25
2005-2010	814.26	7.20	22.16	14.68
2010-2015	886.53	7.39	23.12	15.26
Tcmq* (%)	0.23	2.0	1.6	1.7

\*Tasa de crecimiento media quinquenal

\*\* Se refiere a la media en cada quinquenio.

Fuente: Elaboración propia, con datos del SMN e INIFAP (2018)

La respuesta del cultivo de maíz ante cambios en la precipitación y la temperatura en sus diferentes etapas del proceso de producción es diferente. De ahí la importancia de su análisis desde esa perspectiva. Durante el periodo de producción (mayo-noviembre), los datos muestran una precipitación de 745.6 mm; y en la época de siembra de 219.6 mm, la cual es inferior a la obtenida en la etapa de crecimiento de 439.6 mm, y superior a la cosecha de 86.4 mm. En los últimos siete quinquenios, la precipitación en la siembra decreció a una tasa de -0.3%, a diferencia de la época de la cosecha que creció 3.6%. En la etapa de crecimiento, se presentó un ligero incremento de apenas 0.02% (Cuadro A.2 del Anexo).

En el caso de la temperatura media, se observa que en la época de siembra creció a una tasa de 1.5%, inferior al aumento observado en la época de crecimiento con 1.7%, al pasar de 14.3 a 15.8 °C; y de cosecha con 1.8%, al pasar de 12.97 a 14.46 °C (Cuadro A.2 del Anexo).

En la Figura 13 (a) se presenta el comportamiento mensual de la precipitación durante los años 1980-2015, en el cual se observa que en junio de 2003 y septiembre de 1998 se obtuvo los más altos volúmenes de agua. En cambio, en la Figura 13 (b, c y d) se tiene el comportamiento de la temperatura media, mínima y máxima respectivamente.

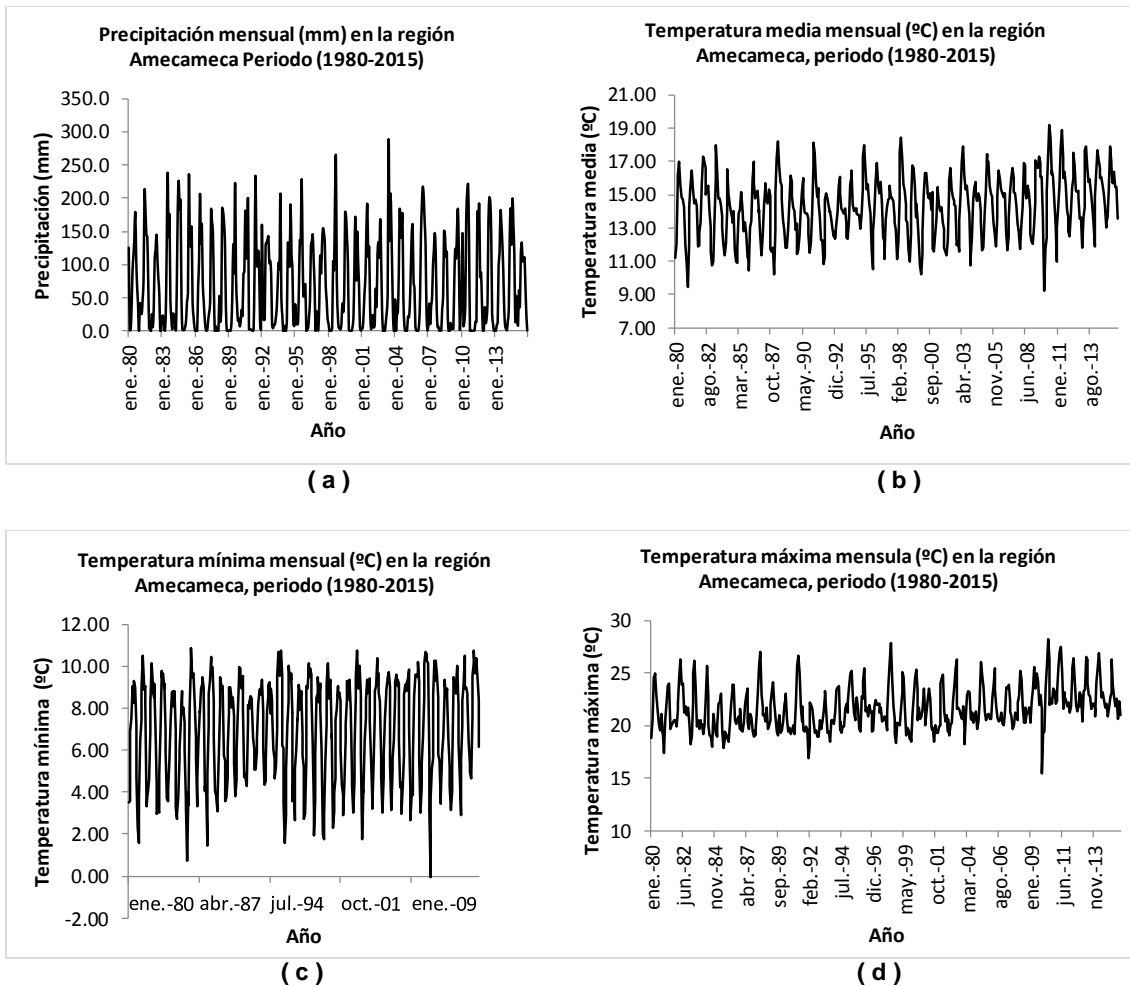


Figura 13. Comportamiento de las variables: precipitación, temperatura media, mínima y máxima mensual en Amecameca. Periodo (1980-2015)

Fuente: Elaboración propia, con datos del SMN e INIFAP (2018)

La temperatura media obtuvo su valor más bajo en diciembre de 2009 con 9.24 °C; en cambio, la temperatura mínima fue en diciembre de 2010 con -0.08 °C; finalmente, la temperatura máxima, su valor más alto ocurrió en mayo de 2010 con 28.2°C.

#### 4.8 Estimación de los modelos

Estudios de impacto económico del cambio climático en la agricultura a través de una función de producción han demostrado que la relación funcional entre los rendimientos de los cultivos, y las variables climáticas temperatura y precipitación

es cuadrática (Mendelsohn *et al.*, 1994; Ramírez *et al.*, 2009; Galindo, 2009; Orihuela, 2014; Guzmán, 2015), lo que indica que, un incremento en temperatura aumenta el rendimiento pero de manera decreciente hasta llegar a un punto máximo (umbral), después del cual un incremento de temperatura impacta negativamente disminuyendo la productividad, de igual manera sucede con la precipitación.

La afectación positiva o negativa de los cambios de las variables climáticas en los cultivos agrícolas, en este caso del maíz, dependerá del umbral que se estime sobre estas variables en función de los rendimientos del cultivo en la región de estudio.

Considerando lo anterior, los resultados muestran que el mejor modelo que explica la relación funcional entre el rendimiento de maíz en Amecameca y las variables climáticas: temperatura y precipitación es cuadrático, y de manera más específica, fue un modelo cuadrático en el que se utilizó información de las variables precipitación y temperatura media en la época de siembra, a diferencia del modelo cuando se usó información en época de crecimiento, cosecha y en el ciclo productivo (Cuadro 23).

#### **4.8.1 Modelo Rendimiento-Temperatura media**

El modelo que mejor describe la relación funcional entre el rendimiento y la temperatura media fue el siguiente:

$$R_{Ame t} = -113.457 + 13.524Temp me_s - 0.3905Temp me_s^2 + \varepsilon_i \dots (35)$$

Dicho modelo, tuvo una bondad de ajuste de 64.2%, el cual fue significativo ( $p < 0.05$ ), al igual que los coeficientes ( $p < 0.01$ ). En cuanto a los signos de los coeficientes  $\beta_1$  positivo y  $\beta_2$  negativo estos fueron los esperados, y reflejan la



concavidad de la relación entre el rendimiento y la temperatura media (Figura 14 y Cuadro 23).

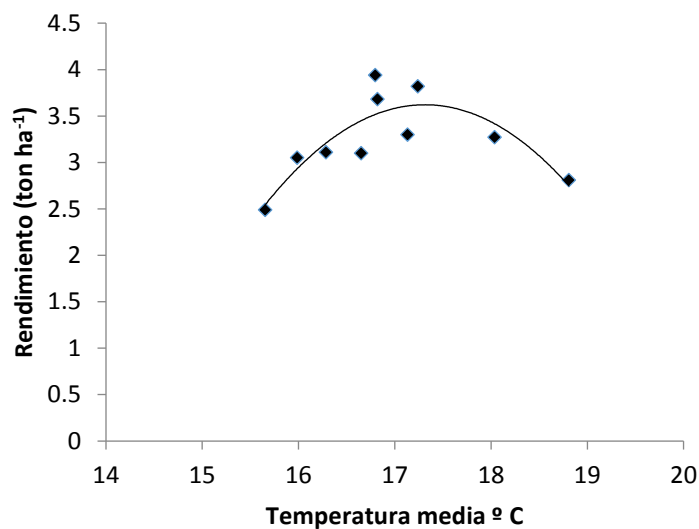


Figura 14. Relación: rendimiento maíz y Temperatura media (época de siembra) en Amecameca, 2006-2015.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro 23. Estadísticas de la regresión: rendimiento y temperatura media

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Rend				
Intercepto	-113.4570 (0.0045)*	-142.305 (0.227)	80.624 (0.129)	-1.654 (0.992)
Tmed	13.5239 (0.0039)*	18.218 (0.225)	-11.366 (0.129)	0.254 (0.990)
Tmed <sup>2</sup>	-0.3905 (0.0040)*	-0.569 (0.233)	0.415 (0.116)	0.003 (0.996)
Obs	13	13	13	13
R <sup>2</sup>	0.642	0.106	0.324	0.145
Prob. F	0.0113	0.230	0.057	0.456
Óptimo	17.3			
Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \*p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El umbral de temperatura media estimado fue 17.3°C; el cual nos indica que un aumento de la temperatura en la región tiene un impacto inicial positivo en el rendimiento; sin embargo, pasando ciertos límites de temperatura 17.3°C (umbral), los impactos se hacen negativos. La temperatura media en Amecameca en la época de siembra durante el periodo 2003-2015 fue 16.8 °C, inferior al umbral estimado, lo que confirma un impacto positivo en el rendimiento del maíz si se incrementa la temperatura media entre 0.1 y 0.5 °C, de acuerdo con los valores de los datos originales del modelo.

Un estudio realizado por Galindo (2009), estimó para el cultivo de maíz en el Estado de México una temperatura actual de 22.9 °C y una temperatura máxima (umbral) de 28.5°C, estos resultados muestran que los efectos de esta variable son en un principio positivos, dado que la temperatura actual es menor al umbral estimado. De igual forma, los efectos fueron positivos para los estados de Hidalgo, Puebla y Querétaro, cuyas temperaturas actuales fueron 25.4, 25.2 y 26.8 °C; en contraste, con el impacto en Baja California Sur, Campeche, Chiapas y Guerrero, los cuales son negativos en un principio, ya que la temperatura actual en estos estados, 31, 32.4, 31.5 y 32.9°C, es mayor a la temperatura máxima de 28.5°C calculada en el citado estudio.

El efecto positivo del rendimiento ante un incremento de temperatura en Amecameca, concuerda con el efecto del impacto del cambio climático que se espera en las regiones con altitudes > 2100 msnm en México, donde de acuerdo con Ruíz *et al.*, (2011) la superficie agrícola con condiciones óptimas para maíz de temporal se incrementará en la zona de Valles Altos y muy Altos de México; por su parte Conde *et al.*, (2006), menciona que para el año 2050, el incremento de la temperatura asociado al aumento de CO<sub>2</sub>, y la disminución del periodo de heladas en Tlaxcala (estado ubicado en la región de Valles Altos), traerá como consecuencia el beneficio de un aumento del 22% en el rendimiento de maíz.

En las estimaciones econométricas de los modelos con información de temperatura mínima, se observa que los resultados no fueron significativos en ninguna de las etapas de desarrollo del cultivo de maíz (Cuadro A.3 del Anexo); no obstante, es importante tener presente que el límite inferior de temperatura sugerido para la siembra de maíz en zonas templadas es 13 °C (Shaw, 1977; citado por Ruíz *et al.*, 2011).

Por su parte, el modelo con información de la temperatura máxima muestra que el mejor ajuste se obtuvo en la etapa de cosecha, donde se tiene una bondad de ajuste de 32.4%, el cual fue significativo ( $p < 0.05$ ), al igual que los coeficientes ( $p < 0.05$ ), y en cuanto a los signos de los coeficientes  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , estos mostraron la alternancia esperada: positivo y negativo, lo cual refleja la concavidad de la relación entre el rendimiento y la temperatura máxima (Cuadro A.3 del Anexo).

El umbral estimado para la temperatura máxima fue de 22.18 °C, el cual es menor a la temperatura óptima para cultivo de maíz. De acuerdo con Fassio *et al.*, (1998), el crecimiento óptimo del cultivo ocurre a temperaturas de 24 a 30 °C.

Comparando los resultados de los modelos en época de siembra con información de la temperatura media y de la época de cosecha con la información de la temperatura máxima, se observa que el mejor ajuste se tiene en el primer modelo, dado el nivel de significancia y el coeficiente de correlación.

Con la información de Ayapango, los resultados muestran que estos no fueron significativos a nivel modelo y parámetros individuales; asimismo se observa signos contrarios a los esperados y coeficientes de correlación no significativos (Cuadros A.5 y A.6 del Anexo).

Respecto a Tlamanalco, los datos muestran que el modelo que mejor explica la relación entre rendimiento y la temperatura fue el que se corrió con la información de la temperatura media en la época de crecimiento; dicho parámetros estimados

fueron significativos ( $p < 0.1$ ); sin embargo, el modelo en general no fue significativo ( $p > 0.1$ ). De igual manera, se tiene con la temperatura máxima en época de cosecha, donde los parámetros individuales fueron significativos ( $p < 0.1$ ); pero el modelo en lo general no es significativo ( $p > 0.1$ ) (Cuadros A.9 y A.10 del Anexo).

#### 4.8.2 Modelo Rendimiento-Precipitación

Con respecto a la precipitación, se observa que al igual que la temperatura, el modelo que mejor describe la relación funcional entre el rendimiento y la precipitación es un modelo cuadrático con la información de la época de siembra, tal y como se describe a continuación:

$$R_{Amecameca} = -1.5087 + 0.0397Precip_s - 0.00008Precip_s^2 + \varepsilon_i \dots \dots (36)$$

La bondad de ajuste del modelo fue de 31.2%; el cual fue significativo ( $p < 0.1$ ); cuyos coeficientes también fueron significativos ( $p < 0.05$ ), y los signos de los coeficientes  $\beta_1$  positivo y  $\beta_2$  negativo son los esperados, los cuales reflejan la relación concava entre el rendimiento y la precipitación, misma que se observa en la Figura 15.

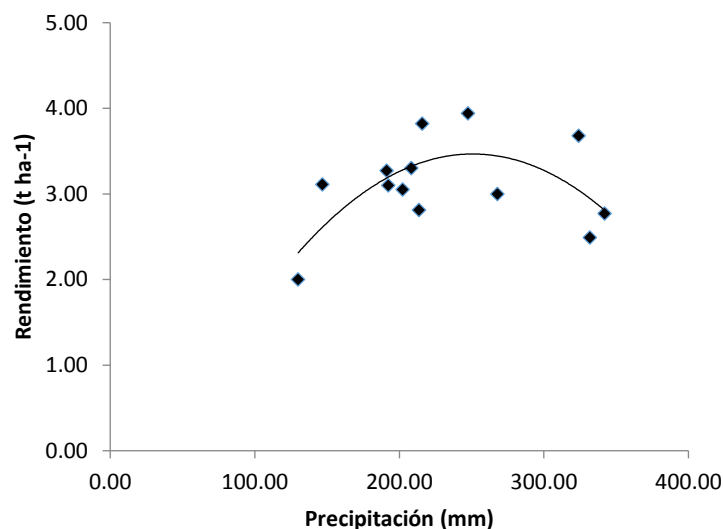


Figura 15. Relación: rendimiento de maíz y precipitación (época de siembra) en Amecameca, 2003-2015.

Fuente: Elaboración propia, 2018

Cuadro 24. Estadísticas de la regresión: rendimiento y precipitación

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
<b>Rend</b>				
Intercepto	-1.5087 (0.3947)	2.27 (0.69)	2.867 (0.003)*	-3.817 (0.326)
Precip	0.0397 (0.0216)**	0.01 (0.84)	0.005 (0.811)	0.018 (0.085)***
Precip <sup>2</sup>	-0.00008 (0.024)**	0.00 (0.79)	0.000 (0.866)	0.000 (0.083)***
Obs	13.0	13.00	13	13
R2	0.312	0.05	0.016	0.125
Prob. F	0.06	0.77	0.923	0.206
Óptimo	250.82			
Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La precipitación media en la época de siembra fue de 231.8 mm, y el umbral estimado fue 250.82 mm. De acuerdo con estos resultados, y considerando la concavidad de la relación se espera un impacto positivo en el rendimiento en un principio ante un incremento en la precipitación hasta cierto límite (umbral), después del cual el impacto sería negativo.

Los resultados de las regresiones en las épocas de crecimiento y cosecha, fueron no significativos en el modelo y en los parámetros; caso contrario con los resultados con información del ciclo biológico, donde los parámetros fueron significativos ( $p < 0.1$ ), pero no así el modelo ( $p > 0.2$ ) (Cuadro 24).

Con la información de Ayapango, los resultados muestran que estos no fueron significativos a nivel modelo y parámetros individuales; asimismo se observa signos contrarios a los esperados y coeficientes de correlación no significativos (Cuadro A.5 del Anexo).

Al igual que Ayapango, en Tlamanalco, los datos también arrojan que los modelos en cada una de las etapas de desarrollo del cultivo no fueron significativos a nivel general y a nivel parámetros individuales (Cuadro A.9 del Anexo).

#### 4.8.3 Modelo conjunto rendimiento y temperatura-precipitación

Las estimaciones econométricas arrojan que el modelo que mejor representó la relación funcional de manera conjunta entre el rendimiento y las variables climáticas: precipitación y temperatura, fue un modelo cuadrático con información de la época de siembra y temperatura media, mismo que se expresa a continuación:

$$R_{Am t} = -83.1329 + 0.0503Precip_s - 0.0001Precip_s^2 + 9.4402Temp me_s - 0.2765Temp me_s^2 + \varepsilon_i \dots \dots (37)$$

Este modelo explica el 58.2% de la varianza del rendimiento, es significativo ( $p < 0.05$ ), y los coeficientes individuales también son significativos: precipitación ( $p < 0.01$ ) y temperatura media ( $p < 0.05$ ), asimismo los signos de los coeficientes fueron los esperados,  $\beta_1$  y  $\beta_3$  positivos, y  $\beta_2$  y  $\beta_4$  negativos (Cuadro 25).

Los signos positivos indican que ante incrementos iniciales en los niveles de precipitación y temperatura el rendimiento aumenta; en cambio, los signos negativos reflejan que existe un umbral en la relación entre el rendimiento y las variables climáticas precipitación y temperatura, a partir del cual, los niveles de rendimiento serían decrecientes.

Los umbrales estimados fueron: 252.48 mm y 17.1°C, los cuales se encuentran por arriba de la precipitación y temperatura media actual existente, 231.8 mm y 16.8°C, por lo que el impacto esperado ante aumentos en temperatura y precipitación será positivo hasta el límite estimado (umbral); lo cual es contrario a la hipótesis establecida de que se encontraban por debajo de los niveles actuales de temperatura y precipitación, por lo que se rechaza la hipótesis planteada.

Cuadro 25. Estadísticas de la regresión: rendimiento, temperatura media y precipitación

Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Intercepto	-83.1329 (0.0181)**	-148.4995 (0.2579)	76.8991 (0.2214)	-25.7861 (0.8792)
Precip	0.0503 (0.0032)*	0.0067 (0.7866)	-0.0128 (0.5018)	0.0155 (0.2709)
Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0037)*	0.0000 (0.7418)	0.0001 (0.4920)	0.0000 (0.2617)
Tmed	9.4402 (0.0196)**	18.8648 (0.2558)	-10.8664 (0.2185)	2.8563 (0.8963)
Tmed <sup>2</sup>	-0.2765 (0.0198)**	-0.5902 (0.2637)	0.4010 (0.1960)	-0.0886 (0.9006)
Obs	13	13	13	13
R2	0.5826	0.3111	0.2063	0.2824
Prob. F	0.0233	0.5055	0.2261	0.5647
Óptimo	252.48 17.1			
Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Con la información de precipitación y temperatura mínima, los resultados arrojan que en época de siembra el modelo también fue significativo ( $p < 0.1$ ), al igual que los coeficientes; lo mismo sucede con la regresión usando la temperatura máxima, con un nivel de significancia en el modelo de ( $p < 0.1$ ) (Cuadro A.4 del Anexo); sin embargo, sus coeficientes de correlación fueron menores al obtenido con la temperatura media, al igual que sus niveles de significancia en los modelos, de ahí que el mejor modelo fue el primero, con temperatura media.

Con la información de Ayapango, se observa que el modelo con información de precipitación y temperatura media en época de cosecha fue significativo ( $p < 0.05$ ), al igual que en los parámetros ( $p < 0.05$ ); sin embargo, los signos no fueron los esperados (Cuadro A.7 del Anexo).

En Tlamanalco, se observó que el modelo que mejor relacionó de manera conjunta el rendimiento y las las variables climáticas: precipitación y temperatura,

fue un modelo cuadrático con información de la época de siembra y temperatura media, mismo que se describe a continuación:

$$R_{Am t} = -83.0831 + 0.0385Precip_s - 0.0001Precip_s^2 + 9.5274Temp me_s - 0.2788Temp me_s^2 + \varepsilon_i \dots \dots (38)$$

Este modelo explica el 59.8% de la varianza del rendimiento, es significativo ( $p < 0.1$ ), y los coeficientes individuales también son significativos: precipitación y temperatura media ( $p < 0.05$ ); asimismo los signos de los coeficientes fueron los esperados,  $\beta_1$  y  $\beta_3$  positivos, y  $\beta_2$  y  $\beta_4$  negativos. Los umbrales estimados fueron: 268.19 mm y 17.08 °C (Cuadro A.11 del Anexo).

El modelo con información que relaciona el rendimiento con la precipitación y la temperatura máxima en la época de siembra resultó no significativo; aunque los parámetros individuales fueron significativos (Cuadro A.12 del Anexo).

#### 4.9 Estimación del impacto en rendimiento

Considerando el modelo que describe conjuntamente la relación funcional entre el rendimiento con la precipitación y la temperatura media (Ecuación 37), se estimó el impacto de la variabilidad (cambio) de las variables climáticas sobre el rendimiento de maíz en Amecameca, dado los cambios (parámetros) esperados en las variables climáticas estimadas por Ruiz *et al.*, (2011) para la década 2011-2020, así como los niveles de precipitación y temperatura media actual: 231.8 mm y 16.8 °C, y los umbrales estimados para esta región 252.5 mm y 17.1 °C.

Los resultados muestran que, ante un incremento de la temperatura de 0.6 °C, al pasar de 16.8 a 17.4 °C, lo que representa un aumento de 3.6%; y una disminución de la precipitación de 9.5 mm, al pasar de 231.8 a 222.3 mm, lo que representa una disminución de 4.1%, se tendrá un impacto positivo (aumento) en el rendimiento del maíz, el cual se estima en 0.58 t ha<sup>-1</sup>, al pasar de 3.10 t ha<sup>-1</sup> en el periodo base (2003-2015) a 3.68 t ha<sup>-1</sup> en el periodo 2016-2020 (Cuadro 26). Lo anterior, representa un aumento en el rendimiento del 18.7%, y cual es congruente



con los resultados obtenidos por Olivera (2013) en un estudio sobre los impactos del cambio en la productividad de maíz de temporal en México, el cual concluye que los rendimientos de maíz por hectárea en algunos municipios del país, tendrán una disminución de más del 15%, pero en otros tendrán un aumento por encima del 48%, ante un incremento simultáneo de un aumento en la temperatura y una disminución en la precipitación hacia el periodo 2030-2039.

Cuadro 26. Efecto del cambio climático en el rendimiento medio de maíz en Amecameca

Periodo	Rendimiento Sin Cambio Climático** (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento Con Cambio Climático (t ha <sup>-1</sup> )	Impacto en rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
(2003-2015)*	3.10	-----	0.00
(2016-2020)	3.10	3.68	0.58

\*Línea base. \*\* Se refiere al rendimiento medio  
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Asimismo, concuerda con el impacto positivo del cambio climático que se espera en las zonas productoras de maíz en Valles Altos de México, ya que de acuerdo con Ruiz *et al.*, (2011), “la superficie agrícola con condiciones óptimas para maíz se incrementará en la zona de Valles Altos”, para la década 2031-2040.

En algunas regiones o estados pertenecientes a los Valles Altos de México, como es el caso del estado de Tlaxcala, se estima un aumento del 22% en el rendimiento del maíz para el año 2050, producto de incrementos en temperatura, entre otros factores (Conde *et al.*, 2006).

Los incrementos en los rendimientos de los cultivos, se asocian a una serie de factores, además del clima (temperatura y precipitación), tales como: la tecnología de producción, y el material genético de las semillas criollas adaptadas a la región, por lo que hay que considerar estos elementos, entre otros, en el incremento en el rendimiento de maíz en Amecameca. “La factibilidad de incrementar los rendimientos sin considerar las condiciones ambientales impredecibles, está supeditada en 60 % al potencial genético del híbrido o variedad a sembrar y en 40

% a las prácticas de manejo de cultivo (Arellano *et al.*, 2010; citado por Vázquez *et al.*, 2012).

Cadet y Guerrero (2017), determinaron con datos del censo agropecuario 2007, algunos factores que explican la evolución de los rendimientos de maíz en México, entre los que se encuentran: el uso de semillas mejoradas, insecticidas, el acceso al crédito y el riego.

En la estimación del efecto del cambio climático en el rendimiento de los productores encuestados, se consideró el incremento (impacto) de manera proporcional obtenido en el rendimiento medio obtenido en la estimación con el modelo anterior. Este impacto positivo en el rendimiento se observa en el Cuadro 27, donde se aprecia que los mayores aumentos se obtienen en aquellos productores, cuyos niveles de productividad son más altos. El incremento en el rendimiento medio del maíz, en estos productores, se estima en 0.29 t ha<sup>-1</sup>, al pasar de 1.57 a 1.86 t ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 27. Efecto del cambio climático bajo diferentes niveles de productividad maíz

Rango de rendimientos (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento productor* CCC (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento productor SCC (t ha <sup>-1</sup> )	Impacto en rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
≥ 1-1.5	1.50	1.26	0.24
1.6-2.0	2.25	1.89	0.35
2.1-2.5	2.61	2.20	0.41
2.6-3.0	3.32	2.80	0.52
Media	1.86	1.57	0.29

\* Se refiere al rendimiento medio.  
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El impacto estimado en cada uno de los productores se muestra en el Anexo (Cuadro A.13); en el cual se aprecia que incremento en los rendimientos es muy heterógeno, y que este depende de los niveles de productividad del agricultor, el valor mínimo fue de 0.19 t ha<sup>-1</sup> y el máximo de 0.56 t ha<sup>-1</sup>.

#### 4.10 Estimación del impacto económico

El impacto económico en el cultivo de maíz, ante el incremento en el rendimiento de  $0.58 \text{ t ha}^{-1}$  (Ecuación 37), es positivo y se estima en \$758.3 por ha (Cuadro 28). Lo anterior, considerando un precio de venta de maíz de \$3,841.8 t, un costo de producción de \$2,287.1 t, y una tasa de descuento del 9.5%.

Cuadro 28. Estimación del impacto económico en la producción de maíz por hectárea en Amecameca (Pesos 2015)

Periodo	Precio de venta (\$ t)	Costo de producción (\$ t)	Rendimiento medio CCC ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Rendimiento medio SCC ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Beneficio económico (\$ $\text{ha}^{-1}$ )*
(2016-2020)	3,841.8	2,287.1	3.68	3.10	758.3

\*Tasa de descuento de 9.5%

Fuente: elaboración propia, 2018.

El valor del impacto con diferentes tasas de descuento usadas en otros estudios (CEPAL, 2009; Orihuela, 2014), se aprecian en el Cuadro 29. En el cual se observa, como es lógico, que el impacto es mayor con tasas de 0.5, 2 y 4%; en comparación con el impacto utilizando la tasa de 9.5%. No obstante, se consideró adecuado la estimación del impacto a diferentes tasas con la finalidad de cuantificar su valor con fines comparativos.

Cuadro 29. Impacto económico en la producción de maíz por hectárea en Amecameca, a diferentes tasas de descuento (Pesos 2015).

Año	Tasa de descuento (%)			
	0.5	2.0	4.0	9.5
2016	901.7	901.7	901.7	901.7
2017	897.2	884.0	867.0	823.5
2018	892.8	866.7	833.7	752.0
2019	888.3	849.7	801.6	686.8
2020	883.9	833.1	770.8	627.2
Promedio	892.8	867.0	835.0	758.3

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En contraste, el impacto estimado con los productores encuestados, es de \$537.8 por ha (2016-2020), considerando un precio de venta de maíz de \$5,507.4 t, un costo de producción de \$3,302 t, y una tasa de descuento del 9.5% (Cuadro 30).

Cuadro 30. Estimación del impacto económico en la producción de maíz por hectárea con los productores encuestados en Amecameca (Pesos 2015)

Periodo	Precio de venta (\$ t)	Costo de producción (\$ t)	Rendimiento medio CCC (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento medio SCC (t ha <sup>-1</sup> )	Beneficio económico (\$ ha <sup>-1</sup> )*
(2016-2020)	5,507.4	3,302.0	1.86	1.57	537.8

\*Tasa de descuento de 9.5%

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Este impacto representa el 18.5% de la ganancia media obtenida por los agricultores de Amecameca en la producción de maíz en una hectárea, y es contrario a la hipótesis establecida, de que este impacto sería negativo y que generaría al menos una disminución del 10% en el ingreso neto de los agricultores, por lo que se rechaza la hipótesis planteada en la investigación.

El impacto positivo en el ingreso de los productores, se debe a que los valores de los umbrales estimados para la precipitación y la temperatura, se ubican por arriba de la precipitación y temperatura media actual en la región de estudio; y no por abajo como se había planteado inicialmente en las hipótesis, por lo que se rechaza esta hipótesis también. Asimismo se tiene que el precio por tonelada es superior en 66.8% al costo medio por tonelada producida en una hectárea.

El valor del impacto económico, bajo diferentes tasas de descuento se muestra en el Cuadro 31. En este se observa, que el valor del impacto es mayor con menores tasas de descuento (0.5, 2, 4%). La razón por la cual se utilizan tasas bajas en algunos estudios de esta naturaleza (CEPAL, 2009; Galindo, 2009; Orihuela, 2014), es para asignar una mayor relevancia significativa al futuro, y de acuerdo con sus autores, es más consistente con el concepto de una agricultura sostenible (Stern [2007], citado por Galindo y Caballero, 2011).

Cuadro 31. Impacto económico con los productores de maíz encuestados en Amecameca, bajo diferentes tasas de descuento (Pesos 2015)

Año	Tasa de descuento (%)			
	0.5	2.0	4.0	9.5
2016	639.6	639.6	639.6	639.6
2017	636.4	627.0	615.0	584.1
2018	633.2	614.7	591.3	533.4
2019	630.1	602.7	568.6	487.1
2020	626.9	590.9	546.7	444.9
Promedio	633.2	615.0	592.2	537.8

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El beneficio económico en cada uno de los agricultores, se muestra en el Anexo (Cuadro A.13), y el impacto bajo distintos intervalos de productividad con distintas tasas de descuento se aprecian en el Cuadro 32:

Cuadro 32. Impacto económico en la producción de maíz por hectárea, bajo distintos niveles de productividad y tasas de descuento (Pesos2015).

Intervalos de rendimientos (t ha <sup>-1</sup> )	Pesos 2015			
	Tasa de descuento			
	0.5	2.0	4.0	9.5
≥ 1-1.5	394.8	383.4	369.2	335.3
1.6-2.0	1,014.7	985.5	949.0	861.8
2.1-2.5	1,283.6	1,246.6	1,200.5	1,090.2
2.5-3	1,625.2	1,578.3	1,519.9	1,380.3

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La diferencia en el impacto económico, entre aquellos productores con mayores rendimientos, 2.5 a 3 t ha<sup>-1</sup>, y menores, ≥1 a 1.5 t ha<sup>-1</sup>, es de \$1,380.3 por ha, a una tasa de 9.5%, el cual es significativo, considerando que el 90.1% de los productores obtuvieron rendimientos entre 1 y 2 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 16), y que el 69% siembran en una superficie de 1 a 2 ha (Cuadro 11).

Los efectos individuales dependerán, además de los niveles de productividad y de la superficie destinada, del destino de su producto. El 25% destina su producción

exclusivamente para autoconsumo, y el 59.2% es para autoconsumo y el mercado (Cuadro 14).

Lo anterior es muy importante, para dimensionar la magnitud de impacto. De acuerdo con Olivera (2013), en un estudio realizado sobre las repercusiones del cambio climático en la productividad del maíz en México menciona que *“los efectos individuales dependerán de si los hogares rurales son productores de subsistencia o productores de alimentos destinados al mercado”*.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El impacto económico del cambio climático en el cultivo de maíz, para el periodo 2016-2020, es positivo; pero muy heterogéneo a nivel productor. Dicho impacto es de \$537.8 por ha, en promedio, producto de un aumento en el rendimiento de 0.29 t ha<sup>-1</sup>, y representa el 18.5% del ingreso neto medio obtenido en la producción de una hectárea de maíz en la región.

Las diferencias en el impacto económico, bajo distintos niveles de productividad es significativa y proporcional a ésta, dada las características de la región. Los productores con mayores rendimientos (2.5 a 3 t ha<sup>-1</sup>) tienen un impacto de \$1,380.3 por ha, mientras que los de menor productividad ( $\geq 1-1.5$  t ha<sup>-1</sup>), es de \$335.3 por ha.

El modelo que mejor representó la relación funcional de manera conjunta entre el rendimiento y las variables climáticas: precipitación y temperatura en Amecameca, fue un modelo cuadrático con información de la época de siembra y temperatura media.

Los valores actuales de precipitación (231.8 mm) y temperatura media (16.8°C), se ubican por debajo de los umbrales estimados, 252.48 mm y 17.1°C, por lo que un incremento en la temperatura, tendrá un impacto inicial positivo en el rendimiento, y pasando cierto límite (umbral), los impactos se hacen negativos; de igual manera sucede con la precipitación.

Los productores se caracterizan por tener una edad avanzada, y un bajo nivel de escolaridad; el 69% siembra una superficie de 1 a 2 ha de maíz, y un poco más de la mitad de los agricultores destina su producción al autoconsumo y al mercado. En cuanto al rendimiento, el 90.1%, tiene un rendimiento menor o igual a 2 t ha<sup>-1</sup>.

## 5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones derivadas de esta investigación van orientadas principalmente hacia las medidas de adaptación por parte de los agricultores.

Dada las características de la región, una alternativa que podría adoptar el productor está encaminada a la capacitación y adopción de técnicas de mejoramiento participativo de maíces criollos (Toledo *et al.*, 2006), por medio del cual se mejora de manera gradual este tipo de maíces, con base a alguna característica que el productor considere sobresaliente.

La adopción de variedades de maíz resistentes al estrés hídrico, podría ser otra alternativa; sin embargo, esta acción podría verse truncada, ya que los datos de las encuestas muestran que, no es común que el productor asista a eventos donde se difunden las semillas mejoradas, tales como demostraciones de campo, ferias de semillas, cursos de capacitación, etc.

La labranza de conservación o labranza mínima, es una buena medida, ya que en la región, el periodo de siembra de maíz depende de la regularidad de las lluvias, de ahí que, los agricultores buscan conservar la humedad en el suelo

Estrategias orientadas a la diversificación de los cultivos; puede contribuir a diversificar el riesgo en el ingreso del productor, debido a las condiciones climáticas extremas que se pudieran presentar en la región.

La organización de los pequeños productores en la región, sin duda también, es una buena medida adaptativa, la cual podría facilitar el acceso a la tecnología, a la asistencia técnica, a los programas de apoyo gubernamental, al financiamiento, y el acceso a los mercados.

Por último, la generación de políticas públicas encaminadas a fortalecer las acciones de adaptación al cambio climático es recomendable. De acuerdo con



UNFCCC, 2010, el fomento de la política pública afecta la velocidad y la extensión de la adopción, y la mayoría de las principales adaptaciones pueden necesitar entre 10 a 20 años para su implementación.

## 6. LITERATURA CITADA

Ahumada C R, Velázquez A G, Flores T E, y Romero G J. 2014. Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 61: 48-53, enero-abril.

Barrera, G.E.; Márquez, S.F.; Sahagún, C.L. y López, R.J. 2009. Mejoramiento genético de razas de maíz de Valles Altos por el método de la retrocruza limitada. *In: Memoria de resúmenes. III Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los Maíces Criollos.* Preciado, O.R.E. *et al.* (eds). Primera edición. Sociedad Mexicana de Fitogenética e Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Gto. 101 p.

Bermejo I. 2010. El agrícola es el sector con más emisiones de efecto invernadero a escala mundial. Revista El Ecologista. Núm. 67, mes de diciembre. Consultado el 5 de marzo de 2017: <https://www.ecologistasenaccion.org/19945/agricultura-y-cambio-climatico/>.

Brambila P. J.J. 2011. Bioeconomía: Instrumentos para su análisis económico. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, Colegio de Postgraduados. p. 312.

Brambila P.J.J., y Osuna G.L. 1992. Conceptos básicos de ingeniería Económica. FIRA, México. Boletín informativo XXV., pág. 38.

Cadet D.S y Guerrero E.S. 2018. Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: Evidencia del censo agropecuario 2007. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Colegio de Postgraduados. Vol.15: 311-337.

CEPAL. 2009. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis. Santiago de Chile. Consultado en línea el 15 de julio 2018: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2929/1/S2009004\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2929/1/S2009004_es.pdf).

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2011. Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro). Revista Enlace, año II, No. 1. 31 p.

Conde C., Ferrer R., y Orozco S. 2006. Climate Change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study. *Atmósfera.* Vol 19, No. 3. 181-194. Julio.

Cuevas R.V., Teja G.R., Altamirano C.J.R., y Almaguer V.G. 2011. La organización de productores y servicios en el agro mexicano: análisis del periodo 1970-2007. In libro: El campo mexicano 1970-2007. Un análisis a partir de los censos agrícolas, ganaderos y ejidales. Coordinadores: Palacio MV, Almaguer VG, Muñoz RM. Editorial Mundi-Prensa México. 265-296 p.

FAO. 2006. Agricultura de conservación. Revista Enfoques. Consulta en línea el 24 de noviembre 2018. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0110sp.htm>.

FAO. 2009. la agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Como alimentar al mundo 2050. Foro de expertos de alto nivel. Roma 12 y 13 octubre 2009. Consultado en línea el 25 de mayo de 2017: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_SP/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf)

FAO. 2017. El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos. Versión resumida. Consultado en línea el 20 octubre de 2018: <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>.

Fassio A., Carriquiry I.A, Tojo C., y Romero R. 1998. Maíz: Aspectos sobre fenología. Serie Técnica N° 101. INIA. ISBN: 9974-38-095-2. Editado por la Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA. Montevideo, Uruguay.

Ferguson C.E., y Gould P.J. 1984. Teoría Microeconómica. Fondo de Cultura Económica. Segunda Edición en Español. Sexta reimpresión. México, D.F. pág. 551.

FIRA. 2017. Panorama Agroalimentario. Maíz 2016. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. Consultado en línea: Agosto de 2017. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf).

Fleischer, A., I. Lichtman y R. Mendelsohn. 2007. Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful? World Bank, Policy Research Working Paper, No 4135.

Galindo L.M., 2009. La economía del cambio climático en México. Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Documento Síntesis impreso. México, D.F. pp. 81.

Galindo L.M., y Caballero K. 2011. La economía del cambio climático en México: algunas reflexiones. Gaceta de economía. UNAM. Año 16. Número especial. Tomo I. p. 85-113.

García F. M., Viladrich G. M. 2009. Influencia del cambio climático en la renta agraria. Universidad Pública de Navarra. Quinto Congreso de Economía de Navarra. España. pp 16.

Gittinger J. Price. 1989. Análisis económico de proyectos agrícolas. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial. Editorial Tecnos, Madrid. pág. 532.

González E.A. 1992. Análisis y optimización. Notas para el tomo II de la matemática de la economía. Centro de Economía. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

González E. A., Jolalpa B.J.L., Ramírez D.J.L., Chuela B.M., Martínez P.R., y Wood S. 2003. Evaluación económica del mejoramiento genético del Maíz en México: Híbrido Intervarietal HV-313. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, Pecuarias y Forestales. Publicación técnica No. 4. SAGARPA. Noviembre.

González E.A., Islas G.J., Espinoza C.A., Vázquez C.A., y Wood S. 2008. Impacto económico del mejoramiento económico del maíz en México: Híbrido H-48. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, Pecuarias y Forestales. Publicación técnica No. 25. SAGARPA. Junio.

González E.A., Ramírez D.J.L., Vázquez C.J.A., y Wood S. 2011. Impactos económicos y sociales de los híbrido de maíz H-318, H-358 y H-375. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, Pecuarias y Forestales. Publicación técnica No. 28. SAGARPA. Diciembre.

González U.J. y Velasco H.R. 2008. Evaluation of the impact of climatic change on the economic value of land in agricultural systems in chile. Chilean journal of agricultural research. 68(1):56-68 (January-march)

Granados R. R., y Sarabia R. A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. INIFAP. Vol. 4 Núm. 3 01 de abril - 15 de mayo, 2013 p. 435-446.

Guzmán P.E. 2015. Impacto económico del cambio climático en la agricultura en la región Cusco, Perú: Una aproximación a través del modelo Ricardiano. Informe final. Centro de estudios regionales Andinos Bartolomé de las casas. Consorcio de Investigación económica y social.

Gujarati D.N. 1992. Econometría. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. Interamericana de México. S.A. de C.V.

Hellin, J.; Keleman, A.; López, D.; Donnet, L. y Flores, D. 2013. La importancia de los nichos de Mercado y del maíz para pozole en México. Revista Fitotecnia Mexicana. 36(6): 315-328.

Hernández, C.J.M.; Esquivel, E.G.; De la O, O.M. y Cortés, E.L. 2009. Evaluación de mestizos de colectas sobresalientes y dos líneas. *In: Memoria de resúmenes. III Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los Maíces Criollos. Preciado, O.R.E. et al. (eds.). Primera edición. Sociedad Mexicana de Fitogenética e Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Gto. 101 p.*

IFPRI (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias). 2009. Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Informe. Washington, D.C. Octubre 2009. Consultado en línea en abril de 2018: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf).

INEGI. 1997. El maíz en el Estado de México. Capítulo 2. Características generales del cultivo de maíz. Monografía. INEGI. Impreso en México. ISBN 970-13-1821-8.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Amecameca. Clave geo estadística 15009. México, D.F.

INEGI. 2018. Índice Nacional de Precios al Productor. Consultado en línea el 5 de agosto de 2018: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>.

IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

MAGAÑA, V. 2010. Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones. INE. UNAM. México. p. 89.

McCarthy, J., O. Canziani, N. Leary, D. Dokken y K. White (Eds.). 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Medina, G. G., Ruíz C.J.A., Ramírez L. M.R., Díaz PG. 2011. Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua. Revista Mexicana de Ciencias Agrícola. Publ. Esp. 2. 1 de septiembre al 31 de octubre. p.195-207.

Mendelsohn R., Nordhaus W. and D. Shaw. 1994. The impact of global warming in agriculture: A Ricardian analysis. American Economic Review 84:772-780.

Moctezuma, L.G., Espinosa, G.J.A., Cuevas, R.V., Jolalpa, B.J.L., Romero, S.F., Velez, I.A., y Bustos, C.D.E. 2010. Innovación tecnológica de la cadena agroalimentaria de maíz para mejorar su competitividad: estudio de caso en el estado de Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(1): 101-110.

Molua, E., y C. Lambi. 2007. The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon. World Bank, Policy Research Working Paper, N° 4364.

Montgomery D.C., Peck E.A., y Vining G.G. 2004. Introducción al análisis de Regresión Lineal. CECSA. Compañía Editorial Continental. Primera reimpresión. México.

Mora J., Ramírez D., Ordaz JL., Acosta A., y Serna B. 2010. Guatemala: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Sede subregional México. México, D.F. pp. 74. Documento impreso.

Mora J., Ramírez D., Ordaz JL., Acosta A., y Serna B. 2010. Panamá: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Sede subregional México. México, D.F. pp. 74. Documento impreso.

Nicholson W. 2004. Teoría Microeconómica. Principios básicos y aplicaciones. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México.

OCDE. 2012. Farmer Behaviour, Agricultural Management and Climate Change, OCDE Publishing, París.

Olguín L JL, Guevara G RD, Carranza M JA, Scopel E, y Barreto G OA. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal.

Olivera V. S.M. 2013. "La productividad del maíz de temporal en México". Euroclima, 1; Volumen:1: 5-24.

Orihuela R.C.E. 2014. Efecto económico del cambio climático sobre cultivos permanentes de la agricultura peruana: periodo 2011-2050. Informe final. Consorcio de Investigación económica y Social. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Ortiz R. M.A. y Ramírez A. O. 2017. Proveedores e Industrias de destino de Maíz en México. Colegio de Postgraduados. Rev. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Vol. 14, núm. 1. Enero-marzo.

Ramírez D., Ordaz J., Mora J. 2009. Itsmo Centroamericano: Efecto del cambio climático sobre la agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sede Subregional México, D.F. Noviembre 2009.

Ramírez D., Ordaz JL., Mora J., Acosta A., y Serna B. 2010. Belice: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Sede subregional México. México, D.F. pp. 74. Documento impreso.

Rosenzweig, C., K.M. Strzepek, D.C. Major, A. Iglesias, D.N. Yates, A. McCluskey, and D. Hillel. 2004. Water resources for agriculture in a changing climate:

International case studies. *Global Environ. Change* A,14, 345-360, doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.09.003.

Ruiz, C. J. A., Ramírez, D. J. L., Flores, M. F. J., y Sánchez, G. J. J. 2000. Cambio climático y efectos sobre las áreas potenciales para maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia*. México. 23:183-194.

Ruiz CJA, Medina GG, Ramírez DJL, Flores LHE, Ramírez OG, Manríquez OJD, Zarazúa VP, González EDR, Díaz PG, y De la Mora OC. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, Pecuarias y Forestales. Pub. Esp. Núm. 2, 1 de septiembre - 31 de octubre, 2011 p. 309-323.

Ruttan V. 1991. Climate change and world agriculture. *Environment*, 33 (6): 25-30

Sahagún, C.L., Barrera, G.E., Márquez, S.F., Gómez, M.N.O., Trujillo, C.A., Castro, G.F.A., Coutiño, E.B., y Castellanos, S.A. 2009. Mejoramiento genético de maíces mexicanos II Ciclo PV 2007. *In: Memoria de resúmenes*. III Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los Maíces Criollos. Preciado, O.R.E. *et al.*, (eds.). Primera edición. Sociedad Mexicana de Fitogenética e Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Gto. 101 p.

Seo, S.N., R. Mendelsohn y M. Munasinghe. 2005. Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation, *Environment and Development Economics*, 10:581-596.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Situación actual y perspectivas del maíz en México: 1996-2012. Consultado en línea: mayo, 2015: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_sispro/index.php?portal=maiz](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_sispro/index.php?portal=maiz).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2017. Base de datos. Consultado en abril, 2017. Consultado en línea: octubre, 2017: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

SINACATRI. 2013. Actualización de la caracterización de los sistemas producto territorio. Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural 2013. Documento interno.

Sotelo, R.E.D.; González, H.A.; Aguirre, G.G., López, Z.J. y Velázquez, A.V.E. 2011. Efectos del cambio climático en la agricultura del Estado de México. INIFAP-CENID COMEF. Informe Interno. México, D.F., p. 33.

Stern. 2007. *Stern Review: La economía del cambio climático*. Londres: HM Treasury.

Suketoshi, T.; Chávez, T. V.H.; Castro, G.H.; Aragón, C.F. y Rincón, F. 2009. Acervos Genéticos de maíz del CIMMYT para uso y evaluación de los agricultores mexicanos: semilla apta para enriquecer los acervos genéticos de los agricultores. *In: Memoria de resúmenes. III Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los Maíces Criollos.* Preciado, O.R.E. *et al.* (eds). Primera edición. Sociedad Mexicana de Fitogenética e Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Gto. 101 p.

Tinoco R JA, Gómez D JD y Monterroso R AI. 2011. Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana.* 29 (2): p 161-168.

Tonconi Q.J. 2015. Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú. *IDESIA (Chile).* Volumen 33, No. 2, páginas 119-136.

Turrent, F.A. 1994. Plan de investigación del sistema maíz-tortilla en la región centro. Folleto Técnico No. 49. SARH-INIFAP-CIRCE. p. 55.

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. *Global Change Biology,* 18(3): 1073-1082.

Vázquez A PMJ., González EA., y Espinoza AJJ. (2009). Diseño y evaluación ex ante de política agrícola. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de investigación regional Pacifico Sur. Campo Experimental Zacatepec. Libro científico 1. México, D.F. pp. 160.

Vázquez C. M.G., Santiago RD., Salinas R.Y., Rojas MI., Arellano V.J.L., Velázquez C.G., y Espinosa C.A. 2012. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en Valles Altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* Vol. 35 (3): 229- 237.

Velázquez, C.G.A.; Tut, C.C.; Virgen, V.J.; Vázquez, C.G. y Salinas, M.Y. 2009. H-58 E: Híbrido de maíz para Valles Altos de la mesa central de México. INIFAP. p. 23.

Vueltas LD. 2011. La agricultura de conservación. Algunas consideraciones sobre la problemática de su implementación en la región del caribe. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. *Ciencia en su PC,* No 4, octubre-diciembre, 2011, p. 1-13.

Zarazúa, V. 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. Universidad de Guadalajara-CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. 188 p. Consultado en línea: agosto 2017.



[http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4785/Zarazua\\_Villasenor\\_Patricia.pdf?sequence=1](http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4785/Zarazua_Villasenor_Patricia.pdf?sequence=1)

## 7. ANEXO

Cuadro A.1. Superficie sembrada, producción, rendimiento, precio y valor de la Producción de maíz por Distrito de Desarrollo Rural 075, Texcoco, Estado de México. (2008-2016)

Municipio	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Precio Medio Rural (\$ t)	Valor Producción (Miles de \$)
Amecameca	4,568	4,568	15,676	3.44	3,651	57,264
Atenco	1,690	1,604	4,914	3.04	3,548	17,019
Atlautla	2,992	2,992	9,533	3.19	3,515	33,536
Ayapango	1,980	1,980	6,418	3.23	3,648	23,489
Chalco	5,349	5,349	18,942	3.55	3,494	63,983
Chiautla	485	471	2,005	4.31	3,548	6,869
Chicoloapan	311	309	833	2.61	3,657	2,780
Chiconcuac	127	122	401	3.28	3,579	1,416
Chimalhuacán	28	27	47	1.89	3,176	151
Coacalco Berriozabal	1	1	3	1.34	1,124	9
Cocotitlan	819	819	2,854	3.70	3,542	9,872
Ecatepec de Morelos	41	37	87	2.53	3,534	294
Ecatzingo	1,527	1,527	4,645	3.05	3,457	15,995
Ixtapaluca	401	386	1,060	2.39	3,188	3,649
Juchitepec	3,442	3,442	12,480	3.53	3,567	43,779
La Paz	86	86	180	2.15	3,675	626
Ozumba	1,483	1,483	4,971	3.34	3,460	17,120
Papalotla	66	61	186	3.04	3,549	661
Temamatla	800	800	2,542	3.20	3,551	8,929
Tenango del Aire	1,161	1,161	4,612	3.93	3,549	16,341
Tepetlaoxtoc	691	643	1,446	2.08	3,578	5,044
Tepetlixpa	1,010	1,010	3,220	3.13	3,498	11,433
Texcoco	1,984	1,910	6,226	3.29	3,417	20,891
Tlalmanalco	1,971	1,971	6,429	3.22	3,615	23,352
Valle de Chalco Solidaridad	97	94	278	2.58	3,499	931
<b>Total</b>	<b>33,107</b>	<b>32,853</b>	<b>109,989</b>	<b>3.34</b>	<b>3,551</b>	<b>385,436</b>

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2017.

Cuadro A.2. Variables climáticas en Amecameca, periodos quinquenales (1980-2015)

Periodo	Ciclo biológico				Siembra			
	Precipitación (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)
1980-1985	777.0	7.9	20.9	14.4	237.9	9.0	22.9	15.9
1985-1990	718.3	8.0	20.7	14.4	234.9	9.1	22.5	15.8
1990-1995	759.7	8.3	20.7	14.5	220.8	9.3	22.3	15.8
1995-2000	716.3	8.3	21.5	14.9	175.2	9.4	23.4	16.4
2000-2005	731.4	8.4	21.3	14.8	232.3	9.3	22.7	16.0
2005-2010	726.9	8.6	22.2	15.4	202.8	9.5	24.0	16.7
2010-2015	789.4	8.7	23.1	15.9	233.4	9.8	25.1	17.5
Promedio	745.6	8.3	21.5	14.9	219.6	9.3	23.3	16.3
Tcmq (%)	0.3	1.7	1.7	1.7	-0.32	1.5	1.6	1.5
Periodo	Crecimiento				Cosecha			
	Precipitación (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)
1980-1985	468.8	8.7	19.9	14.3	70.32	5.63	20.31	12.97
1985-1990	411.8	8.9	20.0	14.5	71.57	5.64	20.03	12.83
1990-1995	407.1	8.9	19.9	14.4	131.84	6.53	20.32	13.43
1995-2000	443.6	9.2	20.8	15.0	97.47	6.06	20.83	13.45
2000-2005	420.7	9.0	20.6	14.8	78.42	6.49	20.88	13.68
2005-2010	455.8	9.6	21.5	15.5	68.28	6.15	21.52	13.83
2010-2015	469.3	9.4	22.2	15.8	86.71	6.59	22.31	14.46
Promedio	439.6	9.1	20.7	14.9	86.37	6.15	20.89	13.52
Tcmq (%)	0.02	1.4	1.9	1.7	3.6	2.7	1.6	1.8

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.3: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Amecameca, Estado de México. (2003-2015)

Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico	Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Intercepto	-6.285 (0.909)	58.710 (0.356)	6.401 (0.122)	56.755 (0.147)	Intercepto	-22.553 (0.599)	-80.112 (0.273)	-196.775 (0.042)**	-127.132 (0.252)
T <sub>mín</sub>	1.792 (0.876)	-11.619 (0.384)	-1.179 (0.335)	-12.403 (0.159)	T <sub>máx</sub>	2.072 (0.555)	7.363 (0.270)	18.054 (0.041)**	11.451 (0.248)
T <sub>mín</sub> <sup>2</sup>	-0.084 (0.888)	0.606 (0.388)	0.100 (0.281)	0.715 (0.151)	T <sub>máx</sub> <sup>2</sup>	-0.042 (0.559)	-0.162 (0.285)	-0.407 (0.044)**	-0.251 (0.255)
Obs	13	13	13	13	Obs	13	13	13	13
R <sup>2</sup>	0.035	0.083	0.037	0.090	R <sup>2</sup>	0.040	0.165	0.324	0.066
Prob. F	0.836	0.650	0.333	0.251	Prob. F	0.817	0.163	0.057	0.285
Óptimo					Óptimo			22.18	
Gráfico					Gráfico			Cóncavo	

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.4: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Amecameca, Estado de México. (2003-2015)

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico	Periodo de siembra	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
<b>Rend</b>									
Intercepto	-95.3661 (0.0647)**	98.7506 (0.1915)	7.3454 (0.1568)	54.7938 (0.1810)	Intercepto	-72.2371 (0.0467)**	-81.0947 (0.3139)	-203.6316 (0.0627)***	-116.3368 (0.3187)
Precip	0.0541 (0.0055)*	0.0116 (0.7109)	-0.0090 (0.6748)	0.0168 (0.0948)***	Precip	0.0523 (0.0055)*	-0.0056 (0.8247)	-0.0086 (0.6215)	0.0175 (0.2332)
Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0061)*	0.0000 (0.6477)	0.0001 (0.6706)	0.0000 (0.1049)	Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0062)*	0.0000 (0.8822)	0.0000 (0.6336)	0.0000 (0.2324)
Tmín	19.0551 (0.0703)***	-20.5185 (0.2040)	-1.3921 (0.3406)	-13.4419 (0.1486)	Tmáx	5.6754 (0.0498)**	7.5825 (0.2966)	18.6731 (0.0621)***	10.0670 (0.3340)
Tmín <sup>2</sup>	-0.9832 (0.0727)***	1.0762 (0.2063)	0.1174 (0.2945)	0.7712 (0.1421)	Tmáx <sup>2</sup>	-0.1158 (0.0494)**	-0.1667 (0.3136)	-0.4202 (0.0651)***	-0.2246 (0.3332)
Obs	13	13	13	13	Obs	13	13	13	13
R2	0.4819	0.2386	0.2164	0.2309	R2	0.4855	0.0747	0.1823	0.0345
Prob. F	0.0515	0.6568	0.7033	0.2038	Prob. F	0.0502	0.3667	0.2490	0.4163
Óptimo					Óptimo				
Gráfico	Cóncavo				Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.5: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Ayapango, Estado de México. (2003-2015)

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico		Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Rend					Rend				
Intercepto	-0.819 (0.681)	6.412 (0.290)	3.511 (0.000)*	1.764 (0.696)	Intercepto	-28.837 (0.524)	-73.67 (0.58)	96.114 (0.103)	26.668 (0.883)
Precip	0.031 (0.094)***	-0.015 (0.559)	-0.020 (0.270)	0.002 (0.832)	Tmed	3.853 (0.470)	9.61 (0.57)	-13.471 (0.104)	-3.185 (0.892)
Precip <sup>2</sup>	0.000 (0.117)	0.000 (0.560)	0.000 (0.212)	0.000 (0.875)	Tmed <sup>2</sup>	-0.116 (0.458)	-0.30 (0.58)	0.486 (0.097)***	0.107 (0.888)
Obs	13	13	13	13	Obs	13.0	13.00	13	13
R2	0.160	0.035	0.016	0.034	R2	0.089	0.06	0.234	0.015
Prob. F	0.168	0.835	0.371	0.839	Prob. F	0.63	0.73	0.106	0.926
Óptimo					Óptimo				
Gráfico					Gráfico				

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.6: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Ayapango, Estado de México. (2003-2015)

Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico	Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Intercepto	27.035 (0.637)	44.081 (0.505)	5.203 (0.221)	52.942 (0.204)	Intercepto	-19.699 (0.651)	-2.230 (0.979)	-112.996 (0.325)	-80.657 (0.514)
Tmín	-4.948 (0.679)	-8.547 (0.539)	-0.865 (0.496)	-11.491 (0.221)	Tmáx	1.919 (0.590)	0.341 (0.965)	10.528 (0.317)	7.438 (0.501)
Tmín <sup>2</sup>	0.253 (0.684)	0.443 (0.544)	0.077 (0.422)	0.659 (0.213)	Tmáx <sup>2</sup>	-0.040 (0.576)	-0.005 (0.979)	-0.239 (0.321)	-0.165 (0.503)
Obs	13.000	13.000	13.000	13.000	Obs	13.000	13.000	13.000	13
R2	0.026	0.048	0.166	0.006	R2	0.069	0.062	0.113	0.049
Prob. F	0.878	0.783	0.404	0.390	Prob. F	0.701	0.726	0.549	0.777
Óptimo					Óptimo				
Gráfico					Gráfico				

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.7: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Ayapango, Estado de México. (2003-2015)

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico	Periodo de siembra	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
<b>Rend</b>									
Intercepto	-65.9011 (0.1199)	-56.4165 (0.7058)	102.5717 (0.0457)**	31.3286 (0.8769)	Intercepto	-46.3701 (0.4835)	46.3998 (0.5634)	9.3307 (0.0406)**	77.4634 (0.1209)
Precip	0.0415 (0.0343)**	-0.0154 (0.6016)	-0.0374 (0.0250)**	0.0003 (0.9863)	Precip	0.0376 (0.1013)	-0.0244 (0.4895)	-0.0385 (0.0525)***	0.0012 (0.9163)
Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0425)**	0.0000 (0.6030)	0.0002 (0.0158)**	0.0000 (0.9842)	Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.1195)	0.0000 (0.5038)	0.0002 (0.0448)**	0.0000 (0.9734)
Tmed	7.6441 (0.1189)	7.8287 (0.6789)	-14.4032 (0.0456)**	-3.8118 (0.8841)	Tmín	9.4194 (0.4872)	-7.6463 (0.6554)	-1.8131 (0.1434)	-17.2495 (0.1240)
Tmed <sup>2</sup>	-0.2281 (0.1138)	-0.2433 (0.6862)	0.5255 (0.0387)**	0.1262 (0.8814)	Tmín <sup>2</sup>	-0.4949 (0.4839)	0.3846 (0.6703)	0.1536 (0.1090)	0.9817 (0.1207)
Obs	13	13	13	13	Obs	13	13	13	13
R2	0.2872	0.0957	0.5827	0.0424	R2	0.0238	0.1156	0.2698	0.3143
Prob. F	0.1581	0.9248	0.0233	0.9835	Prob. F	0.4300	0.8947	0.1715	0.4989
Óptimo					Óptimo				
Gráfico	Cóncavo		Convexo		Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Cuadro A.8: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Ayapango, Estado de México. (2003-2015)

Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Intercepto	-63.8580 (0.1254)	20.1651 (0.8300)	-125.6868 (0.2702)	-100.0700 (0.4751)
Precip	0.0446 (0.0296)**	-0.0283 (0.3643)	-0.0292 (0.1612)	0.0017 (0.9207)
Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0359)**	0.0000 (0.3675)	0.0002 (0.1351)	0.0000 (0.9595)
Tmáx	5.1126 (0.1250)	-1.1932 (0.8877)	11.6679 (0.2636)	9.1141 (0.4676)
Tmáx <sup>2</sup>	-0.1059 (0.1197)	0.0319 (0.8685)	-0.2622 (0.2703)	-0.2032 (0.4672)
Obs	13	13	13	13
R2	0.2885	0.1595	0.0270	0.1001
Prob. F	0.1570	0.8174	0.4258	0.9184
Óptimo				
Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.9: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Tlamanalco, Estado de México. (2003-2015)

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico		Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Rend					Rend				
Intercepto	-0.659 (0.734)	5.646 (0.337)	2.607 (0.004)*	-0.808 (0.849)	Intercepto	-46.5294 (0.2904)	-196.027 (0.096)***	64.724 (0.182)	-95.012 (0.565)
Precip	0.028 (0.116)	-0.012 (0.637)	0.000 (0.982)	0.009 (0.428)	Tmed	5.7927 (0.2644)	25.109 (0.095)***	-9.261 (0.176)	12.348 (0.563)
Precip <sup>2</sup>	0.000 (0.150)	0.000 (0.650)	0.000 (0.858)	0.000 (0.462)	Tmed <sup>2</sup>	-0.1695 (0.2655)	-0.791 (0.098)***	0.345 (0.154)	-0.389 (0.573)
Obs	13	13	13	13	Obs	13	13	13	13
R2	0.160	0.027	0.087	0.092	R2	0.123	0.17	0.423	0.148
Prob. F	0.168	0.871	0.636	0.616	Prob. F	0.52	0.16	0.026	0.448
Óptimo					Óptimo				
Gráfico					Gráfico				

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.10: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Tlamanalco, Estado de México. (2003-2015)

Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico	Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Intercepto	15.419 (0.779)	70.352 (0.265)	5.677 (0.126)	44.404 (0.243)	Intercepto	-31.499 (0.461)	-81.735 (0.286)	-174.021 (0.093)***	-156.067 (0.168)
Tmín	-2.828 (0.805)	-14.103 (0.287)	-1.131 (0.304)	-9.812 (0.253)	Tmáx	2.816 (0.421)	7.529 (0.282)	16.006 (0.091)***	14.071 (0.164)
Tmín <sup>2</sup>	0.158 (0.792)	0.735 (0.291)	0.103 (0.221)	0.577 (0.234)	Tmáx <sup>2</sup>	-0.058 (0.418)	-0.167 (0.294)	-0.362 (0.094)***	-0.311 (0.167)
Obs	13	13	13	13	Obs	13	13	13	13
R2	0.048	0.122	0.228	0.110	R2	0.068	0.085	0.174	0.066
Prob. F	0.783	0.522	0.110	0.224	Prob. F	0.704	0.258	0.154	0.285
Óptimo					Óptimo				
Gráfico					Gráfico				

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.11: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Tlamanalco, Estado de México. (2003-2015)

	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico	Periodo de siembra	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Rend									
Intercepto	-83.0831 (0.0395)**	-186.0558 (0.1628)	68.8638 (0.1887)	-95.8730 (0.6031)	Intercepto	-63.2628 (0.3035)	88.6571 (0.2473)	7.6864 (0.0866)***	62.6325 (0.1554)
Precip	0.0385 (0.0295)**	-0.0085 (0.7288)	-0.0209 (0.2003)	0.0035 (0.8095)	Precip	0.0376 (0.0772)***	-0.0156 (0.6290)	-0.0178 (0.3365)	0.0072 (0.4713)
Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0417)**	0.0000 (0.7433)	0.0001 (0.1589)	0.0000 (0.8347)	Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0981)***	0.0000 (0.6687)	0.0001 (0.2921)	0.0000 (0.5591)
Tmed	9.5274 (0.0408)**	24.0811 (0.1542)	-9.8554 (0.1810)	12.3275 (0.6050)	Tmín	12.6296 (0.3153)	-16.9900 (0.2968)	-1.6059 (0.2002)	-14.6528 (0.1414)
Tmed <sup>2</sup>	-0.2788 (0.0413)**	-0.7581 (0.1585)	0.3694 (0.1545)	-0.3905 (0.6126)	Tmín <sup>2</sup>	-0.6475 (0.3228)	0.8784 (0.3058)	0.1401 (0.1486)	0.8480 (0.1321)
Obs	13	13	13	13	Obs	13	13	13	13
R2	0.5988	0.3259	0.4618	0.1720	R2	0.1422	0.2038	0.1821	0.1292
Prob. F	0.0879***	0.4757	0.0591	0.7935	Prob. F	0.2901	0.7295	0.2492	0.3042
Óptimo					Óptimo				
Gráfico	Cóncavo				Gráfico				

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.12: Resultados de las estimaciones econométricas de los modelos cuadráticos para el cultivo de maíz en Tlamanalco, Estado de México. (2003-2015)

Rend	Periodo de siembra	Periodo de crecimiento	Periodo de cosecha	Ciclo biológico
Intercepto	-73.8379 (0.0717)***	-65.3169 (0.4349)	-172.6354 (0.1261)	-176.0007 (0.1630)
Precip	0.0409 (0.0347)**	-0.0234 (0.3904)	-0.0097 (0.6054)	0.0053 (0.7177)
Precip <sup>2</sup>	-0.0001 (0.0467)**	0.0000 (0.4072)	0.0001 (0.5186)	0.0000 (0.7657)
Tmáx	5.8694 (0.0731)***	6.4622 (0.3926)	15.8746 (0.1243)	15.7046 (0.1640)
Tmáx <sup>2</sup>	-0.1197 (0.0727)***	-0.1413 (0.4120)	-0.3580 (0.1281)	-0.3490 (0.1649)
Obs	13	13	13	13
R2	0.3154	0.3208	0.0656	0.2996
Prob. F	0.1378	0.4858	0.3776	0.5290
Óptimo				
Gráfico	Cóncavo			

Nota: Estimaciones con MCO

P-value en paréntesis; \* p-value<0.01; \*\*p-value<0.05; \*\*\*p-value<0.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro A.13. Beneficio a nivel productor producto del cambio climático en Amecameca, Estado de México. (Periodo 2016-2020)

Productor	Precio tonelada (Pesos 2015)	Costo tonelada (Pesos 2015)	Rendimiento productor CCC (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento productor SCC (t ha <sup>-1</sup> )	Beneficio económico (\$ t ha <sup>-1</sup> )
1	5437.6	3314.9	1.78	1.50	595.72
2	5437.6	3902.1	1.54	1.30	373.49
3	5437.6	2980.6	1.78	1.50	689.55
4	5437.6	3181.2	1.78	1.50	633.25
5	5437.6	3134.4	1.78	1.50	646.39
6	5437.6	3381.8	1.78	1.50	576.96
7	5437.6	3785.4	1.48	1.25	386.42
8	5437.6	2272.3	2.49	2.10	1243.67
9	5437.6	2355.8	2.37	2.00	1153.19
10	5437.6	2851.2	2.02	1.70	822.65
11	5437.6	2350.8	2.37	2.00	1155.07
12	5437.6	3214.7	1.78	1.50	623.87
13	5437.6	3550.6	1.78	1.50	529.60
14	5558.5	3114.4	1.78	1.50	685.93
15	5437.6	2272.3	2.49	2.10	1243.67
16	5437.6	4117.5	1.19	1.00	246.99
17	5437.6	2370.9	2.37	2.00	1147.57
18	5437.6	3408.5	1.66	1.40	531.52
19	5437.6	3127.7	1.78	1.50	648.27
20	5437.6	2360.8	2.37	2.00	1151.32
21	5437.6	2335.8	2.37	2.00	1160.70
22	5437.6	4701.6	1.19	1.00	137.71
23	5437.6	2428.9	2.85	2.40	1351.04
24	5437.6	2935.4	1.90	1.60	749.06
25	5437.6	2258.0	2.49	2.10	1249.30
26	5437.6	4167.7	1.19	1.00	237.61
27	5437.6	3951.5	1.42	1.20	333.67
28	5437.6	2951.1	1.90	1.60	744.37
29	5437.6	3640.0	2.01	1.69	568.39
30	5437.6	2485.1	2.26	1.90	1049.58
31	5437.6	2375.9	2.37	2.00	1145.69
32	5437.6	2385.9	2.37	2.00	1141.94
33	5437.6	2798.1	2.02	1.70	839.54
34	5437.6	4318.1	1.19	1.00	209.46

Productor	Precio tonelada (Pesos 2015)	Costo tonelada (Pesos 2015)	Rendimiento productor CCC (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento productor SCC (t ha <sup>-1</sup> )	Beneficio económico (\$ t ha <sup>-1</sup> )
35	5437.6	2576.3	2.02	1.70	910.09
36	5437.6	3848.1	1.34	1.13	334.58
37	5437.6	2976.9	1.66	1.40	644.56
38	5437.6	2688.0	2.37	2.00	1028.90
39	5437.6	3131.1	1.78	1.50	647.33
40	5437.6	4329.1	1.19	1.00	207.41
41	5921.0	2385.9	2.37	2.00	1322.80
42	5437.6	3141.1	1.78	1.50	644.51
43	5437.6	3154.5	1.78	1.50	640.76
44	5437.6	2385.9	2.37	2.00	1141.94
45	5921.0	4671.5	1.19	1.00	233.77
46	5437.6	4771.8	1.19	1.00	124.57
47	5437.6	4500.1	1.19	1.00	175.42
48	5437.6	4288.5	1.19	1.00	215.00
49	5437.6	3181.2	1.78	1.50	633.25
50	5921.0	2692.1	2.73	2.30	1389.47
51	5921.0	4671.5	1.19	1.00	233.77
52	5437.6	4409.3	1.19	1.00	192.40
53	5437.6	4530.2	1.19	1.00	169.79
54	5437.6	2345.8	2.37	2.00	1156.95
55	5921.0	4771.8	1.19	1.00	215.00
56	5921.0	2725.3	3.56	3.00	1793.73
57	5921.0	2967.3	2.37	2.00	1105.25
58	5437.6	3691.6	1.42	1.20	392.02
59	5921.0	2850.3	3.09	2.60	1493.76
60	5437.6	3181.2	1.78	1.50	633.25
61	5437.6	3214.7	1.78	1.50	623.87
62	5921.0	2965.0	2.37	2.00	1106.10
63	5437.6	3147.8	1.78	1.50	642.64
64	5437.6	4105.8	1.37	1.15	286.56
65	5921.0	4484.5	1.19	1.00	268.75
66	5437.6	2560.0	2.08	1.75	942.19
67	5437.6	4459.5	1.19	1.00	183.01
68	5437.6	3381.8	1.78	1.50	576.96
69	5437.6	4621.4	1.19	1.00	152.72
70	5437.6	2335.8	2.37	2.00	1160.70
71	5437.6	3517.1	1.78	1.50	538.98

Fuente: Elaboracion propia, 2018.