



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

**ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CAMBIO EN TRES
GRANOS BÁSICOS DE MÉXICO ANTE LA
VARIABILIDAD DEL CLIMA**

ZULIA HELENA CAAMAL PAT

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE :

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO

2020

La presente tesis titulada: **“Análisis económico del cambio en tres granos básicos de México ante la variabilidad del clima”**, realizada por la alumna: **Zulia Helena Caamal Pat**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

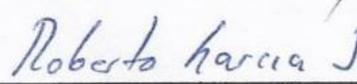
DOCTORA EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR

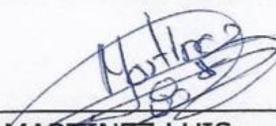
CONSEJERO


DR. JAIME ARTURO MATUS GARDEA

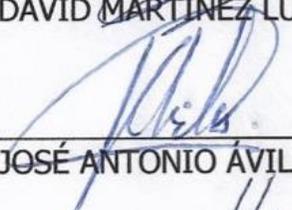
ASESOR


DR. ROBERTO CARLOS GARCÍA SÁNCHEZ

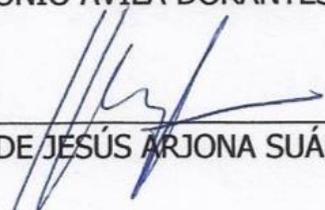
ASESOR


DR. DAVID MARTÍNEZ LUIS

ASESOR


DR. JOSÉ ANTONIO ÁVILA DORANTES

ASESOR


DR. ENRIQUE DE JESÚS ARJONA SUÁREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2020

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CAMBIO EN TRES GRANOS BÁSICOS DE MÉXICO ANTE LA VARIABILIDAD DEL CLIMA

Zulia Helena Caamal Pat, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

En México el consumo de granos en la dieta tradicional se conformó principalmente de maíz y frijol, con la introducción de nuevos cultivos se incorporó el trigo y el arroz. En la dieta de los mexicanos se acompañan los platillos con tortillas, frijoles y arroz, principalmente. En la Ley de Desarrollo Rural Sustentable el maíz, frijol y arroz se consideran productos básicos y estratégicos. Algunos estudios mencionan que un cambio en la temperatura y precipitación podrían afectar de manera negativa el rendimiento, el ingreso agrícola y el consumo. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar los efectos del cambio en la temperatura y precipitación pluvial sobre los rendimientos de los tres cultivos por ciclo agrícola (primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI)) en el periodo 1980-2018 y cuantificarlos en el mercado nacional con proyecciones de los escenarios climáticos para México con un horizonte cercano (2015-2039) y bajo distintos escenarios de mitigación.

Los resultados obtenidos muestran que para el ciclo PV la temperatura y la precipitación afectaron de manera directa a los tres cultivos. En el ciclo OI la temperatura afectó de manera directa a los tres cultivos, mientras que la precipitación tuvo un efecto indirecto en maíz y frijol, y un efecto directo en arroz. Al utilizar una proyección de un incremento de 1.3 °C en un escenario de emisiones medias de gases de efecto invernadero (RCP4.5) se encontró que para el ciclo PV la oferta de maíz, frijol y arroz se incrementaría en 8.36, 3.42 y 4.64 % y para el ciclo OI en 8.62, 0.83 y 4.82 %, respectivamente. La demanda de maíz, frijol y arroz aumentaría en 0.43, 5.20 y 0.16 % para PV y en 0.27, 1.27 y 0.05 % para OI, respectivamente.

Palabras clave: Modelo de desplazamiento de equilibrio, Temperatura, Precipitación, Rendimiento, Maíz, Frijol, Arroz.

ECONOMIC ANALYSIS OF THE CHANGE IN THREE GRAINS BASICS OF MEXICO IN THE FACE OF CLIMATE VARIABILITY

**Zulia Helena Caamal Pat, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2020**

ABSTRACT

In Mexico, the consumption of grains in the traditional diet consisted mainly of corn and beans, with the introduction of new crops, wheat and rice were incorporated. In the Mexican diet, the dishes are mainly accompanied with tortillas, beans and rice. In the Sustainable Rural Development Law, corn, beans and rice are considered basic and strategic products. Some studies mention that a change in temperature and precipitation could negatively affect yield, farm income and consumption. The objectives of this dissertation were to determine the effects of the change in temperature and rainfall on the yields of the three crops per agricultural cycle (spring-summer (PV) and autumn-winter (OI)) in the period 1980-2018 and quantify them in the national market with projections of climate scenarios for Mexico with a near horizon (2015-2039) and under different mitigation scenarios.

The results obtained show that for the PV cycle, temperature and precipitation directly affected the three crops. In the OI cycle, temperature directly affected the three crops, while precipitation had an indirect effect on corn and beans, and a direct effect on rice. When using a projection of an increase of 1.3 °C in a scenario of average greenhouse gas emissions (RCP4.5), it was found that for the PV cycle the supply of corn, beans and rice would increase by 8.36, 3.42 and 4.64% and for the OI cycle at 8.62, 0.83 and 4.82%, respectively. The demand for corn, beans and rice would increase by 0.43, 5.20 and 0.16% for PV and by 0.27, 1.27 and 0.05% for OI, respectively.

Key words: Equilibrium Displacement Model, Temperature, Precipitation, Yield, Maize, Beans, Rice.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de Postgrado.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS), por brindarme la oportunidad de concluir una meta más en el posgrado de Economía.

Al Dr. Jaime Matus Gardea, por toda la paciencia, por el esfuerzo y el tiempo dedicado a la revisión de la presente investigación, así como los consejos y recomendaciones, por toda la experiencia y calidad académica compartida.

A mis asesores de tesis, Dr. Roberto Carlos García Sánchez, Dr. David Martínez Luis, Dr. José Antonio Ávila Dorantes, Dr. Enrique de Jesús Arjona Suárez, por su tiempo y sus valiosas observaciones realizadas durante la investigación.

A todos los profesores que formaron parte de mi educación en esta institución y a Lupita por todo su apoyo.

AGRADECIMIENTO PERSONALES

A mi esposo e hijo, por todo el apoyo y paciencia brindada, por todo el amor y las sonrisas robadas y regaladas.

A mis papás por impulsarme a dar un paso más y por el apoyo brindado en los momentos más difíciles.

A mis hermanos por toda la paciencia y la ayuda incondicional.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE CUADROS.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Hipótesis	5
1.4 Materiales y métodos.....	6
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
CAPÍTULO III. SITUACIÓN DEL MERCADO DE MAÍZ.....	13
3.1 Situación nacional de maíz	13
3.1.1 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz	13
3.1.2 Principales estados con mayor superficie sembrada de maíz	15
3.1.3 Volumen de producción de maíz	18
3.1.4 Principales estados con mayor volumen de producción de maíz por ciclo	19
3.1.5 Rendimientos de maíz.....	21
3.2 Situación internacional de maíz	21
3.2.1 Importación nacional de maíz	21
3.2.2 Exportación nacional de maíz.....	23
3.3 Consumo nacional de maíz	24
3.4 Calendario agrícola para maíz	25
3.5 Requerimientos de precipitación y temperatura para maíz.....	27
CAPÍTULO IV. SITUACIÓN DEL MERCADO DE FRIJOL	28
4.1 Situación nacional de frijol	28
4.1.1 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol.....	28
4.1.2 Principales estados con mayor superficie sembrada de frijol.....	30
4.1.3 Volumen de producción de frijol.....	33
4.1.4 Principales estados con mayor volumen de producción de frijol por ciclo	34
4.1.5 Rendimientos de frijol	36

4.2 Situación internacional de frijol.....	36
4.2.1 Importación nacional de frijol.....	36
4.2.2 Exportación nacional de frijol.....	38
4.3 Consumo nacional de frijol.....	39
4.4 Calendario agrícola para frijol.....	40
4.5 Requerimientos de precipitación y temperatura para frijol	41
CAPITULO V. SITUACIÓN DEL MERCADO DE ARROZ.....	43
5.1. Situación nacional de arroz	43
5.1.1 Superficie nacional sembrada, cosechada y siniestrada de arroz	43
5.1.2 Principales estados con mayor superficie sembrada de arroz.....	45
5.1.3. Volumen de producción de arroz	48
5.1.4 Principales estados con mayor volumen de producción de arroz por ciclo.....	49
5.1.5 Rendimiento de arroz	51
5.2. Situación Internacional de arroz.....	52
5.2.1 Importación nacional de arroz	52
5.2.2 Exportación nacional de arroz.....	53
5.3. Consumo nacional de arroz	55
5.4. Calendario agrícola para arroz.....	56
5.5. Requerimiento de precipitación y temperatura para arroz	57
CAPITULO VI. ANÁLISIS CLIMÁTICO	59
6.1 Temperatura	59
6.1.1 Temperatura media	60
6.1.2 Temperatura máxima.....	63
6.1.3 Temperatura mínima	65
6.2. Precipitación	68
CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN DE ELASTICIDADES DEL RENDIMIENTO	72
7.1 Modelo de datos de panel.....	72
7.2 Estimación del modelo de datos de panel para maíz.....	75
7.2.1 Estimación del modelo de datos de panel para maíz de primavera-verano	75
7.2.2 Estimación del modelo de datos de panel para maíz de otoño-invierno	77
7.3 Estimación del modelo de datos de panel para frijol	79

7.3.1 Estimación del modelo de datos de panel para frijol de primavera-verano.....	79
7.3.2 Estimación del modelo de datos de panel para frijol de otoño-invierno.....	80
7.4 Estimación del modelo de datos de panel para arroz.....	82
7.4.1 Estimación del modelo de datos de panel para arroz de primavera-verano.....	82
7.4.2 Estimación del modelo de datos de panel para arroz de otoño-invierno.....	83
7.5 Cálculo de las elasticidades de rendimiento.....	84
7.5.1 Calculo de las elasticidades de rendimiento de maíz.....	85
7.5.2 Calculo de las elasticidades de rendimiento de frijol.....	85
7.5.3 Calculo de las elasticidades de rendimiento de arroz.....	86
CAPÍTULO VIII. ORMULACIÓN DEL MODELO DE DESPLAZAMIENTO DE	
EQUILIBRIO	88
8.1 Formulación de los modelos de maíz, frijol y arroz	90
8.1.1 Formulación del modelo de mercado de maíz.....	90
8.1.2 Formulación del modelo de mercado de frijol	93
8.1.3 Formulación del modelo de mercado de arroz.....	96
CAPÍTULO IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	100
9.1 Simulación del modelo para un cambio porcentual en las variables climáticas.....	102
9.2 Simulación del modelo para los cambios proyectados en las variables climáticas....	103
CAPÍTULO X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
10.1 Conclusiones.....	106
10.2 Recomendaciones.....	107
CAPÍTULO X. LITERATURA CITADA	108
ANEXOS	116
ANEXO A.....	116
ANEXO B	117
ANEXO C.....	121
ANEXO D.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.1. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz, 1980-2018.	13
Figura 3.1.2. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz de PV, 1980-2018.	14
Figura 3.1.3. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz de OI, 1980-2018.	15
Figura 3.1.4. Superficie sembrada de maíz de diez principales estados y otros, 1980-2018.	16
Figura 3.1.5. Superficie sembrada de maíz de diez principales estados y otros de PV, 1980- 2018.	17
Figura 3.1.6. Superficie sembrada de maíz de seis principales estados y otros de OI, 1980- 2018.	17
Figura 3.1.7. Volumen de producción de maíz, 1980-2018.	18
Figura 3.1.8. Volumen de producción de maíz por ciclo, 1980-2018.	19
Figura 3.1.9. Volumen de producción de maíz de diez principales estados y otros de PV, 1980-2018.	20
Figura 3.1.10. Volumen de producción de maíz de seis principales estados y otros de OI, 1980-2018.	20
Figura 3.1.11. Rendimiento de maíz por ciclo agrícola, 1980-2018.	21
Figura 3.2.1. Importación nacional de maíz, 1980-2018.	22
Figura 3.2.2. Importación nacional de maíz por país socio comercial, 1986-2017.	22
Figura 3.2.3. Exportación nacional de maíz, 1980 a 2016.	23
Figura 3.2.4. Exportaciones de maíz mexicano por país socio comercial, 1986-2017.	24
Figura 3.3.1. Consumo nacional de maíz, 1980-2018.	25
Figura 3.4.1. Calendario Agrícola para cultivo de maíz por ciclo.	25
Figura 3.4.2. Fechas en las que se debería realizar la siembra para el cultivo de maíz por estado.	26
Figura 4.1.1. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol, 1980-2018.	28
Figura 4.1.2. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol de PV, 1980-2018.	29
Figura 4.1.3. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol de OI, 1980-2018.	30
Figura 4.1.4. Superficie sembrada de frijol de siete principales estados y otros, 1980-2018.	31
Figura 4.1.5. Superficie sembrada de frijol de siete principales estados y otros de PV, 1980- 2018.	32

Figura 4.1.6. Superficie sembrada de frijol de OI de cuatro principales estados y otros, 1980-2018.....	32
Figura 4.1.7. Volumen de producción de frijol, 1980-2018.....	33
Figura 4.1.8. Volumen de producción de frijol por ciclo, 1980-2018.....	34
Figura 4.1.9. Volumen de producción de frijol de PV de siete principales estados y otros, 1980-2018.....	35
Figura 4.1.10. Volumen de producción de frijol de OI de cuatro principales estados y otros, 1980 a 2018.	35
Figura 4.1.11. Rendimiento de frijol por ciclo agrícola, 1980 a 2018.	36
Figura 4.2.1. Importación nacional de frijol, 1980 a 2017.....	37
Figura 4.2.2. Importación nacional de frijol por país socio comercial, 1986-2017.	37
Figura 4.2.3. Exportación nacional de frijol, 1980-2018.	38
Figura 4.2.4. Exportaciones de frijol mexicano por país socio comercial, 1980-2017.....	39
Figura 4.3.1. Consumo nacional de frijol, 1980-2018.	40
Figura 4.4.1. Calendario Agrícola para cultivo de frijol por ciclo.	40
Figura 4.4.2. Fechas en las que se debería realizar la siembra para el cultivo de frijol por estado.....	41
Figura 5.1.1. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de arroz, 1980-2018.....	43
Figura 5.1.2. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de arroz de PV, 1980-2018.....	44
Figura 5.1.3 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de arroz de OI, 1980-2018.....	45
Figura 5.1.4. Superficie sembrada de arroz de seis principales etados y otros, 1980-2018.....	46
Figura 5.1.5. Superficie sembrada de arroz de PV de seis principales estados y otros, 1980- 2018.....	47
Figura 5.1.6. Superficie sembrada de arroz de OI de seis principales estados y otros, 1980- 2018.....	47
Figura 5.1.7. Volumen de producción de arroz, 1980-2018.	48
Figura 5.1.8. Volumen de producción de arroz por ciclo de 1980 a 2018.	49
Figura 5.1.9. Volumen de producción de arroz de PV de seis principales estados y otros, 1980-2018.....	50
Figura 5.1.10. Volumen de producción de arroz de OI de seis principales estados y otros, 1980-2018.....	50
Figura 5.1.11. Rendimiento de arroz por ciclo agrícola, 1980 a 2018.....	51

Figura 5.2.1. Importación nacional de arroz , 1980 a 2017.....	52
Figura 5.2.2. Importación nacional de arroz por país socio comercial, 1980 a 2017.....	53
Figura 5.2.3. Exportación nacional de arroz, 1980 a 2018.....	54
Figura 5.2.4. Exportaciones de arroz mexicano por país socio comercial, 1980-2017.....	55
Figura 5.3.1. Consumo nacional de arroz, 1980 a 2018.....	56
Figura 5.4.1. Calendario Agrícola para cultivo de arroz por ciclo.....	56
Figura 5.4.2. Fechas en las que se debería realizar la siembras para el cultivo de arroz por estado.....	57
Figura 6.1.1. Promedio nacional de la temperatura media anual, 1980-2018.....	60
Figura 6.1.2. Promedio decenal nacional de la temperatura media anual de abril a septiembre.	61
Figura 6.1.3. Promedio decenal nacional de la temperatura media anual de octubre a marzo.	62
Figura 6.1.4. Promedio nacional de la temperatura media anual por ciclo agrícola, 1980-2018.....	62
Figura 6.2.1. Promedio nacional de la temperatura máxima anual, 1980-2018.....	63
Figura 6.2.2. Promedio decenal de la temperatura máxima anual del mes de abril a septiembre.	64
Figura 6.2.3. Promedio decenal de la temperatura máxima anual del mes de octubre a marzo.....	64
Figura 6.2.4. Promedio nacional de la temperatura máxima anual por ciclo agrícola, 1980-2018.....	65
Figura 6.3.1. Promedio nacional de la temperatura mínima anual, 1980-2018.	66
Figura 6.3.2. Promedio decenal de la temperatura mínima anual del mes de abril a septiembre.	67
Figura 6.3.3. Promedio decenal de la temperatura mínima anual del mes de octubre a marzo.....	67
Figura 6.3.4. Promedio nacional de la temperatura mínima anual por ciclo agrícola.....	68
Figura 6.4.1. Precipitación acumulada nacional, 1980-2018.....	69
Figura 6.4.2. Precipitación promedio nacional decenal del mes de abril a septiembre.	70
Figura 6.4.3. Precipitación promedio nacional decenal del mes de octubre a marzo.	70
Figura 6.4.4. Precipitación acumulada por ciclo agrícola.	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 7.1.1. Diseño de matriz para base da datos.....	73
Cuadro 7.1.2. Tipo de error de acuerdo al modelo a estimar.	74
Cuadro 7.3. Estadísticos por tipo de modelo para rendimiento de maíz de PV.....	76
Cuadro 7.4. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de maíz de PV.....	77
Cuadro 7.5. Estadísticos por tipo de modelo para rendimiento de maíz de OI.....	78
Cuadro 7.6. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de maíz de OI.....	78
Cuadro 7.7. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de PV.....	79
Cuadro 7.8. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de PV.....	80
Cuadro 7.9. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de OI	81
Cuadro 7.10. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de OI	81
Cuadro 7.11. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de PV	82
Cuadro 7.12. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de PV	83
Cuadro 7.13. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de OI	83
Cuadro 7.14. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de OI	84
Cuadro 7.15. Estimación de la elasticidad de rendimiento de maíz de PV.....	85
Cuadro 7.16. Estimación de la elasticidad de rendimiento de maíz de OI.....	85
Cuadro 7.17. Estimación de la elasticidad de rendimiento de frijol de PV.....	86
Cuadro 7.18. Estimación de la elasticidad de rendimiento de frijol de OI	86
Cuadro 7.19. Estimación de la elasticidad de rendimiento de arroz de PV	86
Cuadro 7.20. Estimación de la elasticidad de rendimiento de arroz de OI	87
Cuadro 8.1. Elasticidades y parámetros utilizados para maíz.	93
Cuadro 8.2. Elasticidades y parámetros utilizados para frijol.....	96
Cuadro 8.3. Elasticidades y parámetros utilizados para arroz.....	99
Cuadro 9.1. Efecto de un cambio porcentual en 1 % en las variables climáticas en el mercado de tres granos básicos	102
Cuadro 9.2. Cambio proyectado (%) para 2015-2039	104
Cuadro 9.3. Efecto del cambio proyectado (%) para 2015-2039 en el mercado de tres granos básicos.....	105

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los temas importantes en la agenda de los países es la seguridad alimentaria, que como concepto surgió a mediados de la década de los años setenta, a raíz de la crisis alimentaria mundial derivada del alza de los precios internacionales (CONEVAL, 2010). Pero no fue hasta la crisis financiera, energética y alimentaria de 2008 (Urquía-Fernandez, 2014) que tuvo nuevamente un gran impacto y se retomó a nivel mundial. Se entiende por seguridad alimentaria al sistema adaptado para asegurar la disponibilidad, el acceso y el uso de los alimentos, así como la estabilidad en la oferta (Porter *et al.*, 2014).

La disponibilidad de los alimentos está sujeta a las condiciones climáticas que se presentan ya que los requerimientos de un cultivo son el agua, la temperatura, la humedad ambiental, la luz, el suelo, entre otros (Ruiz *et al.*, 2013). La temperatura y la disponibilidad de agua son los factores climáticos más críticos que determinan el crecimiento de un cultivo en una región (Awika, 2011). Se han realizado distintos modelos para conocer los posibles escenarios ante las variaciones del clima y se ha encontrado que un cambio en la temperatura y precipitación puede reducir la productividad de los cultivos mediante la disminución de la superficie cosechada o en los rendimientos (Lobell and Field, 2007; Galindo, 2010; SAGARPA-FAO, 2012; Walthall *et al.*, 2013).

Para México se estima que la vulnerabilidad de la variación en el clima se debe a que una parte del territorio es semiárido y los cambios en la temporada de lluvia resultan en amenaza de sequía. También se pueden observar dos fenómenos relacionados a la precipitación, el primero es el fenómeno del niño (ENOS, Oscilación en el Sur), que se manifiesta con lluvias invernales principalmente en Baja California y Sonora, pero si se presenta en verano se observa una disminución de las lluvias en el territorio de México (Magaña, 1999). El segundo es el monzón mexicano que se presenta en verano con variaciones interanuales, aunque no existen estudios detallados que muestren el comportamiento y permitan explicarlo (Magaña *et al.*, 2004).

A nivel mundial en la dieta humana los granos de cereal han sido la principal fuente de alimentación siendo el arroz, el trigo y el maíz los principales granos en la ingesta calórica diaria (Awika, 2011). A nivel nacional los productos básicos de la dieta tradicional se conformaban por maíz, frijol, calabaza, quelites, entre otros. En la época colonial se introdujeron alimentos como el arroz, avena,

cebada, trigo, habas, lentejas, y otros cultivos (Gálvez y Salinas, 2015). Con la introducción de nuevos cultivos “la dieta tradicional mexicana” cambió; esta dieta hace referencia a la forma particular de comer de la mayor parte de la población, es decir, platillos preparados en casa con las recetas familiares, que se pueden disfrutar en fondas y comidas corridas (Gálvez y Salinas, 2015). En México la dieta de granos esta compuesta principalmente de maíz, frijol, trigo y arroz. En 2018 la ingesta diaria por persona de maíz fue de 91 gr, para frijol fue de 27.5 gr y de arroz (elaborado) fue de 13.2 gr (FAO, 2019). El consumo nacional per-cápita de 1980 a 2018 presentó una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 0.96 %, -1.72 % y -0.36 % para maíz, frijol y arroz (elaborado) respectivamente.

En 2013 el suministro interno de arroz se destinó en alimentos (86.7 %), en elaboración (9.2 %) y otros usos (4.0 %). En frijol se empleó el suministro en alimentos (90.9 %) y otros uso (9.1 %), para maíz el suministro interno se asignó en alimentos y elaboración (49.9 %), en piensos (alimentos para el ganado) (39.8 %) y otros usos (10.2 %) (FAO, 2019).

El maíz es el cereal y fuente de energía emblemática de la dieta mesoamericana actual y prehispánica (Gálvez y Salinas, 2015). La mayor parte de la producción de maíz depende fuertemente del clima y se produce prácticamente en toda la República Mexicana. La producción de temporal presenta bajos rendimientos en comparación con la de riego (Conde *et al.*, 2004). En 2018 el rendimiento de maíz para la producción de temporal fue de 2.46 ton/ha y en riego fue de 8.56 ton/ha (SIAP, 2019).

La superficie cosechada de maíz presenta pequeños vaivenes que podrían ser explicadas por las variaciones climáticas o relacionados con la disposición de recursos para actividades productivas. Cada año la producción de maíz presenta superficie siniestrada (Conde *et al.*, 2004).

Para el periodo de 1980 a 1989 el 15.8% de la superficie sembrada de maíz presentó algún siniestro, en el periodo de 1990 a 1999 el 10.2 % y de 2000 a 2009 el 10.4 % de la superficie cultivada respectiva a cada periodo se reportó como siniestrada y de 2010 a 2018 la superficie siniestrada fue el 5.8 % respecto a la superficie sembrada (SIAP, 2019).

El cultivo de frijol, junto con el maíz, representa toda una tradición productiva y de consumo; cumple diversas funciones alimentarias y socioeconómicas que le han permitido trascender hasta la actualidad (Ayala-Garay *et al.*, 2008). Este cultivo es la fuente principal de proteínas de origen vegetal que se conserva aún en nuestros días (Gálvez y Salinas, 2015). Sin embargo, este cultivo

presenta pérdidas en la rentabilidad causada por el poco acceso a programas federales y estatales de apoyo al campo, los factores climáticos, entre otros (De los Santos-Ramos, *et al.*, 2017).

La producción de frijol se da principalmente en temporal, en los últimos cinco años el 73.1% de la producción de frijol se obtuvo de este ciclo (SIAP, 2019) y los rendimientos se ven seriamente afectados por factores climáticos como sequías, exceso de lluvias, heladas tempranas y el ataque de plagas y patógenos (Márquez *et al.*, 2006).

De 1980 a 1989 la superficie siniestrada de frijol representó el 20.5 % de la superficie sembrada, de 1990 a 1999 la superficie siniestrada fue de 16.2 %, de 2000 a 2009 fue de 14.4 % y de 2010 a 2018 fue de 9.7 % respecto a la superficie sembrada (SIAP, 2019).

En la dieta mexicana los platillos son acompañados por tortillas, frijoles y arroz. El arroz es considerado en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable como un producto básico y estratégico por su importancia en la dieta de los mexicanos, no obstante, la producción del cultivo fue autosuficiente hasta 1988 (SAGARPA, 2017) La producción de arroz presentó una relocalización de las zonas productoras, tal es el caso, del estado de Sinaloa que ha dejado de tener participación en la producción; y en los estados de Michoacán y Morelos la participación en la superficie sembrada ha disminuido, por el contrario, los estados de Veracruz y Campeche han mantenido la superficie de forma regular y en los estados de Tabasco y Nayarit la superficie ha crecido (Hernández-Trujillo, 2004).

En los estados del sureste han crecido los rendimientos de arroz, pero los factores climáticos y la calidad del suelo no permite la mejora productiva (Hernández-Trujillo, 2004). A nivel nacional la superficie siniestrada entre 1980 y 1989 correspondió al 21.4 % de la superficie sembrada, para el periodo de 1990 y 1999 esta relación fue de 8.5 %, de 2000 a 2009 fue de 6.2 % y de 2010 a 2018 equivalió al 4.0 % (SIAP, 2019).

Uno de los factores que afecta la producción de los 3 cultivos se debe a la variabilidad del clima, principalmente porque la mayor parte de la producción es bajo la modalidad de temporal y en ciclo primavera-verano. En el periodo 2014 a 2018 más del 50 % del volumen de producción fue bajo el ciclo PV en arroz (67.7 %), en frijol (76.5 %) y maíz (71.7 %). Así mismo para el ciclo PV y modalidad temporal el 68.24 % en frijol y el 85.55 % en maíz, mientras que la producción de arroz es principalmente de riego (78 %) (SIAP, 2019) .

Los cambios en la temperatura y precipitación podrían afectar la productividad de maíz, frijol con tendencias a la baja, además de una pronunciada inestabilidad y generando impactos negativos

sobre el ingreso agrícola y vulnerabilidad en el consumo alimentario (Martínez y Rodríguez, 2008 citado por SEMARNAT, 2016).

De acuerdo a las proyecciones desarrolladas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2014) señalan que el cambio climático sin adaptación tendrán un impacto negativo en la producción para algunos cultivos como el trigo, arroz y maíz, en las regiones tropicales y templadas cuando los incrementos de la temperatura local alcancen los 2 °C o más respecto a la temperatura promedio de finales del siglo XX, aunque puede haber localidades individuales que resulten beneficiadas de este aumento.

Para México las proyecciones desarrolladas por Semarnat (2014) consideran un escenario de incremento en la temperatura de entre 2.5 y 4.5 °C y una disminución de la precipitación de entre 5 y 10 % muestran que para la década de 2050 la productividad del maíz puede disminuir y existe cierta evidencia de que la mayoría de los cultivos resultarán menos adecuados para la producción en México hacia 2030, empeorando esta situación para finales del presente siglo.

En el país desde el año 2005 los registros anuales de temperatura han estado por arriba de los 21.4 °C, valor que esta por arriba del promedio anual de temperatura registrado en el periodo de 1971 a 2011 que fue de 20.9 °C. Si se analizan las anomalías de temperatura nacionales se observa que entre 2006 y 2015 la temperatura nacional estuvo más de medio grado centígrado por arriba del promedio del mismo periodo (Semarnat , 2016).

El incremento de la temperatura nacional no ha sido homogéneo a lo largo del territorio (Semarnat, 2016). Los promedios de temperatura entre 30 y 35 °C se observaron en las costas del Pacífico desde Sinaloa y Baja California hasta Chiapas y en el Golfo de México (Veracruz, Tabasco) y la península de Yucatán. Los promedios anuales más bajos que fueron reportados oscilaron entre los 10 y 15 °C en el sur de Chihuahua y norte de Durango (CONAGUA, 2015).

A diferencia de la temperatura, en México la precipitación no ha tenido un patrón claro de cambio mostrando aumentos o disminuciones con variaciones regionales. En el periodo 1941-2015, un 55 % de los años (41 de 74 años) registraron niveles de precipitación por debajo del promedio; 1945 fue el año menos lluvioso (638.8 mm) y 1958 el más lluvioso (997.8 mm). En 2015 la precipitación (872 mm) fue 11.7 % superior al promedio anual del periodo (Semarnat, 2016).

La agricultura mexicana es vulnerable a los cambios de las precipitaciones y las temperaturas debido a la baja capacidad de adaptación (Ojeda-Bustamante et al. 2015)

1.2 Objetivos

Objetivo general

Calcular los cambios en el mercado nacional de maíz, arroz y frijol como consecuencia de la variación del clima sobre los rendimientos.

Objetivo específico

- Determinar el efecto del cambio en la temperatura y precipitación pluvial sobre los rendimientos de los cultivos de arroz, frijol y maíz para los ciclo de Primavera-Verano (PV) y Otoño Invierno (IO) del periodo 1980 a 2018.
- Cuantificar los efectos del cambio de los rendimiento de los tres cultivo en los cambios del mercado interno de México con las proyecciones de un horizonte cercano (2015-2039).

1.3 Hipótesis

- Debido a la diversidad climática en México los cambios en los rendimientos de los agricultores de arroz, frijol y maíz de los ciclos OI y PV son distintos a causa de las variaciones de las temperaturas y precipitaciones de los meses de octubre a marzo y de abril a septiembre, respectivamente.
- Los cambios en el rendimiento de maíz, frijol y arroz generan un desequilibrio en la producción, en la oferta y en los precios a nivel nacional, modificando las importaciones y reajustando el mercado nacional a un nuevo equilibrio.

1.4 Materiales y métodos

La producción mexicana de arroz, frijol y maíz se practica en dos ciclos: Otoño-Invierno (octubre a marzo) y Primavera-Verano (abril-septiembre), siendo éste último ciclo el más importante para la producción de los 3 cultivos. En el periodo 2014-2018 la producción nacional de arroz fue de 67.7 % y 32.3 % en PV y OI respectivamente, en frijol la relación fue de 76.5 % (PV) y 23.5 % (OI) y en maíz la relación fue de 71.7 % (PV) y 28.3 % (OI). La producción también se divide en dos modalidades: temporal y riego.

Para analizar los cambios en el mercado nacional por un cambio en la oferta a causa de las variaciones en el clima se desarrollará un modelo de desplazamiento de equilibrio (EDM). El modelo requiere el cálculo de las elasticidades de rendimiento de cada uno de los cultivos respecto a las variables climáticas por ciclo. Los datos de rendimiento fueron obtenidos de SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).

Los datos climatológicos que son más importantes en la producción agrícola son el agua, la temperatura, la luz y el dióxido de carbono. Sin embargo no hay información disponible para todos los años y a nivel nacional de los datos relacionados con luz y dióxido de carbono por lo que solo se consideraron la precipitación y la temperatura. Los datos fueron obtenidos del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III) (IMTA, 2019) de 1979 a 1984 y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de 1985 a 2017.

Los datos climáticos analizados para la producción del ciclo PV son un promedio de los meses de abril a septiembre y para el ciclo OI son un promedio de octubre del año anterior a marzo del siguiente año.

El modelo de desplazamiento del equilibrio (EDM) requiere de distintas elasticidades y razones de cambios que fueron obtenidas de varios autores o calculadas con datos de FAO (Food Agriculture Organization of the United Nations) y SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Para calcular los parámetros utilizados en la estimación de las elasticidades de los rendimientos se utilizó el software estadístico SAS v.13.2 y para cuantificar los efectos de los cambios en el mercado nacional se utilizó una hoja de cálculo de Excel.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

Conde *et al.* (2000) emplearon un modelo CERES-Maize que simula los incrementos diarios de crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de maíz, permitiendo simular los efectos del clima y los cambios en el manejo del cultivo. Evaluaron los efectos de un cambio climático en los rendimientos de maíz de temporal en 5 puntos (Atacomulco, México; Izúcar e Ixcamilpa, Puebla; Coatepec y Tuxpan, Veracruz; La Huerta y Magdalena, Jalisco). Encontraron que cambios en los rendimientos de maíz de temporal serían negativos. Sin embargo, en los sitios con una altura mayor de los 2000 msnm en el centro de México, los incrementos en temperatura resultarían benéficos a pesar de que existiera una disminución en la precipitación. Observaron que, en todos los casos, un incremento en la precipitación de +20 % implicaba una disminución en los rendimientos como consecuencia de que la lluvia puede impedir la asimilación óptima del nitrógeno del suelo.

También estudiaron medidas de adaptación para reducir los impactos como el cambio en la fecha de siembra, el incremento en la aplicación de fertilizante, el cambio en la variedad de semillas, la aplicación de irrigación y la combinación de estas. Encontraron que la aplicación de fertilizante sola o combinada con alguna otra propuesta mencionada anteriormente es la más exitosa.

Ruíz-Corral *et al.* (2000) cuantificaron el impacto del cambio climático durante el periodo 1947-1996, sobre las áreas potenciales para la producción de maíz (*Zea mays* L.) en Jalisco, México, mediante un análisis retrospectivo comparando información climática de los periodos 1947-1971 y 1972-1996 en términos de la variación de la estimación de crecimiento y su capacidad térmica en grados de día de desarrollo con respecto a las áreas potenciales para maíz y considerando cuatro ciclos biológicos: intermedio-tardío, intermedio, intermedio-temprano y temprano. Ellos encontraron que las áreas potenciales para el cultivo de maíz se modificaron dado que la superficie apta para maíces de ciclo intermedio-tardío y temprano se redujo 24 y 49 %, respectivamente y la superficie apta para maíz de ciclo intermedio e intermedio-temprano se incrementó en 44 y 73%. Mencionan que las variaciones climáticas durante 1972-1996 impactaron negativamente sobre el agroclima regional y la superficie potencial para la producción de maíz en el estado de Jalisco, la cual se redujo en 319,950 ha.

Mendelsohn *et al.* (2009) midieron para México el impacto del clima utilizando un análisis ricardiano con datos económicos de 2002 para 621 unidades de producción. Usaron datos de clima, elevación, suelo y la distancia de la unidad analizada a la ciudad más cercana. Encontraron que los

valores de las tierras agrícolas en México son sensibles al clima. Un aumento marginal de la precipitación en cada ciclo reducirá el valor de las tierras agrícolas, principalmente por las consecuencias perjudiciales de las precipitaciones del ciclo OI, que pueden estar vinculadas con los huracanes en otoño. Un incremento en las temperatura cálidas reduce el valor de la tierra en 6,500 a 7,700 pesos por cada °C. Un incremento en las precipitaciones por mm al mes reduce el valor de la tierra en 4,940 y 50 pesos para las tierras de riego y de temporal, respectivamente.

Tinoco-Rueda *et al.* (2011) realizaron una zonificación agroecológica para simular la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco en el ciclo PV analizando la temperatura atmosférica, la humedad disponible en el suelo y la pendiente del terreno. Evaluaron tres periodos, el primero fue una línea base (1961- 1990) y dos modelos de cambio climático (GFDL-TR- 90 y HADLEY-TR-00) para el horizonte de tiempo 2050 (2041-2060), bajo el supuesto socioeconómico A2 (establece un crecimiento poblacional fuerte y un desarrollo económico lento). Para el primer modelo encontraron un incremento en la superficie no apta para el cultivo de maíz en 63.6 %, para el segundo modelo fue de 90.8 %. Las zonas centro, norte y este del estado son las mas vulnerables al cambio climático y sugieren protección y conservación para evitar la degradación de los terrenos y la disminución de la producción.

Ruíz-Corral *et al.* (2011) determinaron las modificaciones agroclimáticas, que podrían estar asociadas con el cambio climático durante tres décadas del siglo XXI (2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060), en cinco zonas productoras de maíz en México para el periodo de mayo-octubre (PV) utilizando temperatura media, temperatura diurna, temperatura nocturna, grados-día de desarrollo, precipitación, evapotranspiración potencial, entre otros. Sus resultados mostraron que entre el periodo base (1961-2003) y 2051-2060 la temperatura de esos meses se incrementará 1.9, 1.9, 2.0, 1.9 y 1.8 en las zonas trópico, subtrópico, transicional de altura, valles altos y valles muy altos, respectivamente. La precipitación disminuirá en 4.4, 3.8, 4.1, 4.5 y 4.4 % en las mismas zonas. La superficie agrícola con condiciones óptimas para maíz se incrementará en valles altos y muy altos, al hacer un balance de las cinco zonas productoras se tendrán resultados negativo en la producción, porque habrá una pérdida paulatina de la superficie agrícola con condiciones óptimas a condiciones subóptimas. En las zonas del trópico, subtrópico y transición la reducción será por el incremento en la temperatura y en la zona de transición debido a un balance hídrico negativo. La reducción de las áreas óptimas para maíz serían en los estados de Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla y Chiapas.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2013) ha desarrollado proyecciones de los cambios en el sistema climático los que se elaboran empleando una jerarquía de modelos climáticos, que van de modelos climáticos sencillos a otros integrales, pasando por modelos de complejidad intermedia; así como modelos del sistema tierra. Los modelos simulan cambios basados en un conjunto de escenarios de forzamientos antropógenos. Las nuevas simulaciones de modelos climáticos utilizaron un nuevo conjunto de escenarios: las trayectorias de concentración representativas (RCP). En las RCP las concentraciones atmosféricas de CO₂ son más elevadas en 2100 respecto a las actuales, como resultado de un mayor aumento de las emisiones de CO₂ acumuladas en la atmósfera durante el siglo XXI. Las trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP2.6), dos escenarios intermedios (RCP4.5 y RCP6.0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8.5).

El IPCC (2014) en el reporte de impactos, adaptación y vulnerabilidad expresa que a nivel mundial la temperatura superficial, según las proyecciones es probable que para finales de este siglo (2081-2100) aumente en 2 °C respecto a la media del periodo de 1850 y 1900 (1.5 °C) para el escenario RCP8.5 pero sería improbable bajo el escenario de mitigación estricta (RCP2.6 nula emisión antes de 2030). Pero el calentamiento continuará más allá del siglo XXI mostrando variabilidad interanual, decenal y no será uniforme entre las regiones. Para la precipitación global se espera que no sea uniforme en el planeta. Se acentuará el contraste en los niveles de precipitación entre las regiones y estaciones húmedas y secas. Es probable que para finales de siglo aumenten las lluvias en las latitudes altas, regiones húmedas de latitud media y en el océano Pacífico ecuatorial, y que disminuyan en muchas regiones secas de latitudes medias y subtropicales (escenario RCP8.5 de altas emisiones). Es muy poco probable que las lluvias extremas sean más intensas y frecuentes en un gran número de zonas continentales de latitud media y en las regiones tropicales húmedas y es probable que se intensifique la variabilidad de las precipitaciones relacionadas con El Niño Oscilación del Sur a escala regional.

Medina-García *et al.* (2016) cuantificaron las superficies de las áreas con potencial productivo para frijol en los escenarios de anomalías de temperatura y precipitación para el periodo 2021-2080 que fue estimado con un ensamble de 11 modelos de circulación general para generar mapas de temperatura y precipitación futuras a partir de la climatología de referencia 1961-2010. Encontraron evidencia en el incremento de la temperatura y su influencia en la reducción de las áreas con potencial productivo alto, disminuyendo conforme se avanza hacia el futuro y la

superficie con potencial medio aumentará en la climatología 2030 y luego disminuirá en las siguientes. Concluyeron que con los resultados obtenidos podrían utilizarse en el diseño de estrategias para enfrentar el cambio climático en las áreas productoras de frijol, como pudieran ser la búsqueda de nuevas variedades de frijol que se adapten a las condiciones de mayor temperatura y tolerantes a condiciones de poca disponibilidad de humedad.

Mardero *et al.* (2018) presentan la influencia de la variabilidad climática en conjunto de variables no climáticas en las tendencias de producción de maíz en los tres estados de la península de Yucatán utilizando un enfoque de métodos mixtos de análisis climático y entrevistas semiestructuradas. Se utilizó un análisis de tendencias climáticas y modelos aditivos generalizados (GAM) para demostrar la relación entre la producción y la variabilidad climática, utilizando datos de precipitación y temperatura de 1980 a 2010. Se realizaron cuarenta entrevistas con funcionarios gubernamentales y representantes de asociaciones de agricultores, los datos encontrados destacan la influencia de la política agrícola en la producción de maíz en la región. El análisis de la tendencia climática arrojó resultados mixtos, con una tendencia de lluvia negativa estadísticamente significativa para Quintana Roo y la variabilidad en los cambios de temperatura máxima en toda la región, con un aumento en el estado de Yucatán y Quintana Roo y una disminución en Campeche. El clima y la producción de GAM indican una fuerte relación significativa entre la producción y las fluctuaciones climáticas para Campeche (79 %) y Quintana Roo (72 %) y un relación significativa más débil para el Estado de Yucatán (31 %). Los entrevistados registraron la variabilidad de las precipitaciones y las políticas públicas ineficaces para el desarrollo agrícola de los pequeños productores como obstáculos principales para la producción de maíz.

Murray-Tortarolo *et al.* (2018) evaluaron el vínculo entre la variabilidad de la lluvia y los rendimientos de maíz en México en tres períodos diferentes: el presente, el pasado (los últimos 30 años) y el futuro (el resto de este siglo) bajo los escenarios RCP (del IPCC). Encontraron que la agricultura de temporal se distribuía en función de la duración de la estación seca, ocurriendo en áreas con una estación seca de 4 a 9 meses, por lo que el cambio climático puede alterar no solo los rendimientos agrícolas, sino también la distribución espacial de los usos de la tierra. La precipitación media anual y la producción de maíz de temporal a nivel nacional para el período de 1980 a 2012 tuvo una correlación lineal de 0.45. Durante el período de 2005 a 2012 los autores dispusieron datos de alta resolución y la correlación fue de 0.91 más fuerte que el periodo mencionado anteriormente. Para el análisis dentro del país los valores de correlación no se

distribuyeron homogéneamente, la mínima correlación encontrada fue de 0.35, lo que muestra que todas las regiones muestran al menos una dependencia media de la lluvia.

Prieto-Cornejo *et al.* (2019) analizaron la evolución del área sembrada, cosechada, siniestrada y del rendimiento del frijol; con la información del clima calcularon un índice de sequía (la desviación de la precipitación con respecto a la media normal para el periodo estudiado) y mediante un modelo econométrico de efectos fijos analizaron la evolución del cultivo. Encontraron que los rendimientos son más erráticos en el ciclo OI principalmente en condiciones de temporal. Para el ciclo PV el modelo estimado indicó que la sequía reduce el rendimiento en 53 kg ha⁻¹. Sin embargo el bajo ajuste de los modelos sugiere que hay otros factores, que afectan la producción de frijol de temporal en México.

Ureta *et al.* (2020) analizaron el vínculo entre el rendimiento de maíz y variables climáticas en áreas de cultivo de temporal y de riego en México para proyectar las variaciones en el rendimiento en los escenarios futuros de cambio climático. Se utilizaron datos a nivel municipal para siete estados (Chiapas, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Tamaulipas y Estado de México) que representan el 65 % de la producción anual de maíz en México y cubren una cantidad importante de variabilidad climática nacional. Se usaron datos publicados por el gobierno mexicano sobre rendimiento y clima en el periodo de 2003 a 2015 y se construyeron modelos lineales para evaluar el impacto del clima en el rendimiento del maíz. Con los datos climáticos registrados se crearon 19 variables bioclimáticas, de las cuales se descartaron 9 debido a fuertes correlaciones ($r \geq 0.85$), y se utilizaron 6 variables relacionadas a la temperatura y 3 con precipitación anual. Se encontró que la temperatura es el factor más influyente en el rendimiento en condiciones de temporal, mientras que en condiciones de riego el factor más influyente fue la precipitación, cuanto más llueve durante el mes más seco del año, más puede producir. Las proyecciones indican que los rendimientos en las tierras de temporal se reducirán en escenarios futuros.

Semarnat (2016) menciona que el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), actualizaron los escenarios de cambio climático en México para el futuro cercano (2015-2039), futuro intermedio (2045-2069) y el futuro lejano (2075-2099), se consideraron los escenarios de cambio climático RCP4.5 (de bajas emisiones) y RCP8.5 (de altas emisiones) propuestos por el IPCC y proyectaron los incrementos de la temperatura promedio anual.

Un incremento en la temperatura para el periodo 2015-2039 con referencia al periodo 1961-2000 en el escenario RCP4.5 se pronosticó que la mayor parte del país registraría incrementos entre 1.1 y 1.3 °C, en el escenario RCP8.5 predominan los aumentos de entre 1.3 y 1.5 °C en el territorio. En ambos casos, Chihuahua, Sonora y Coahuila serían los estados con los mayores aumentos de temperatura. Si se observa por separado el mes típicamente más caliente del año (julio) bajo el escenario RCP8.5, alrededor de dos terceras partes de la superficie nacional registrarían temperaturas entre 1.3 y 1.7 °C mayores que el promedio y en algunas zonas del país podrían incrementar su temperatura en un intervalo entre 1.7 y 2.3 °C.

También pronosticaron para la precipitación bajo ambos escenarios una reducción en su valor promedio anual (respecto al periodo 1961-2000) sobre todo el territorio nacional para el periodo 2015-2039. La mayor parte del territorio reduciría su precipitación entre 1 y 11% de su valor promedio anual. Baja California, Baja California Sur y Sonora serían los estados más afectados con la reducción de entre el 25 y 35% de su precipitación anual. En el mes de mayo (el menos lluvioso), gran parte de la zona occidente y noroeste del país podrían reducir significativamente su precipitación, por ejemplo, en algunas zonas de Sonora y Baja California, la magnitud de la reducción podría alcanzar entre el 66 y 100% de su promedio mensual histórico.

CAPÍTULO III. SITUACIÓN DEL MERCADO DE MAÍZ

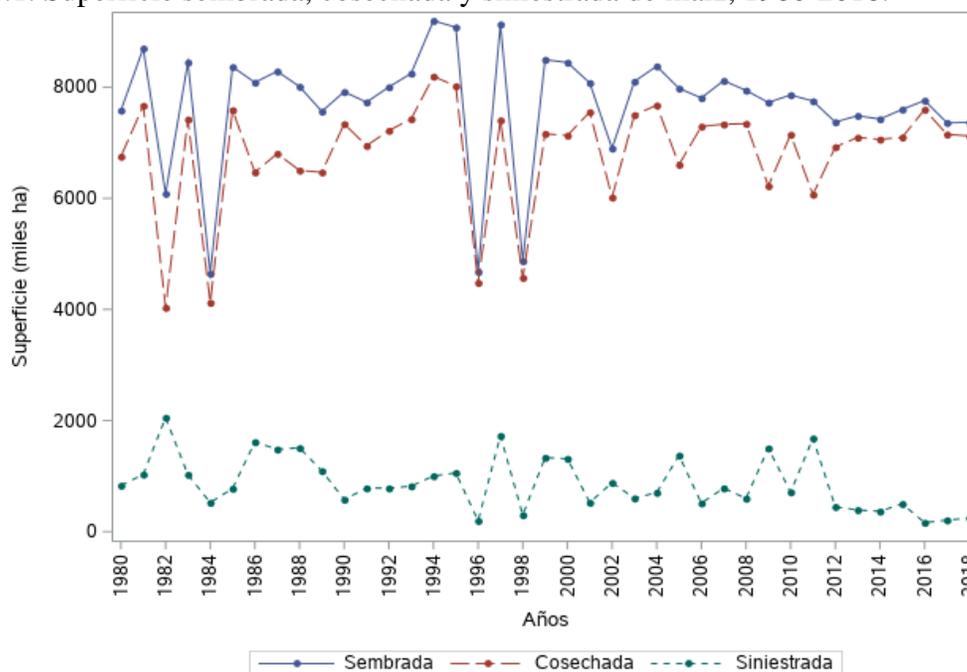
3.1 Situación nacional de maíz

3.1.1 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz

La producción nacional de maíz presentó caídas en la superficie cultivada en el periodo de 1980 al 2000 como se observa en la figura 3.1.1. Los años en los que se presentaron las caídas en la superficie sembrada y cosechada fueron en 1982, 1984, 1996, 1998 y en 2002.

La superficie sembrada entre 1980 y 2014 disminuyó debido al deterioro paulatino de los precios reales pagados al productor, lo que ha llevado a los productores a buscar alternativas por cultivos más rentables (De los Santos, 2017).

Figura 3.1.1. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

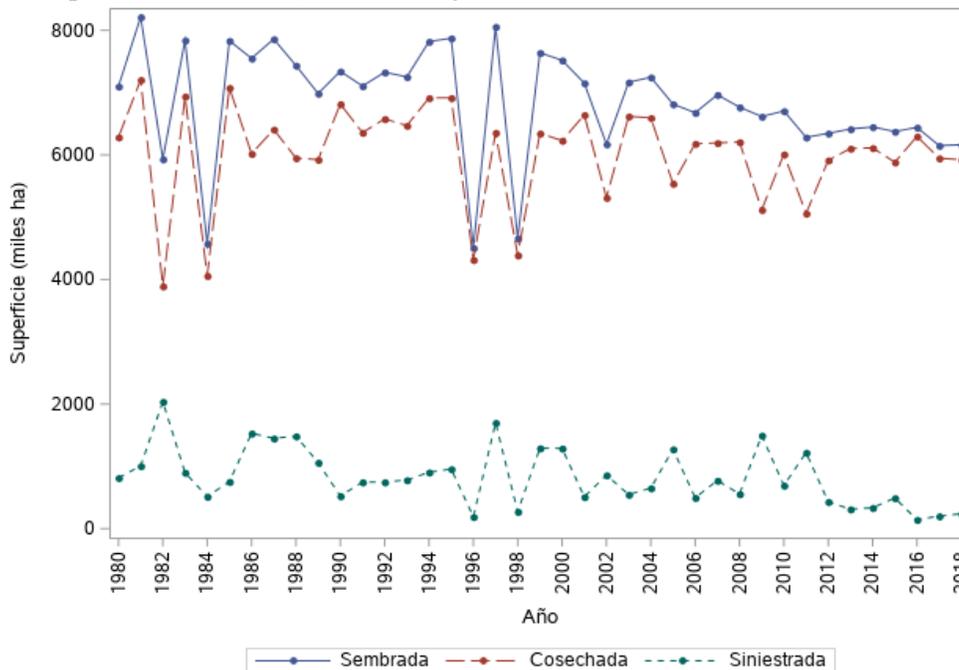
Hernández-Trujillo (2004) supone que los vaivenes en la superficie cosechada se podrían explicar por variaciones climáticas o por problemas relacionados con la disposición de recursos para la realización de las labores culturales. Por ejemplo, para 1982 la superficie sembrada fue de 6,085 mil ha mientras que la superficie cosechada fue de 4,032 mil ha lo que representó el 33.74 % en superficie siniestrada. La superficie siniestrada en la década de 1980 tuvo una TCMA de 2.80 %,

mientras que para 1990 esta tasa fue de 8.70 %, en el periodo del 2000 la TCMA fue de 1.36 % y en la década de 2010 se presentó un decrecimiento en la TCMA de -11.21 %.

La producción de maíz se efectúa en dos ciclos PV y OI. La mayor parte de la producción se establece en el ciclo PV, por ejemplo para el periodo de 1984 a 1988 el 94.27 % de la superficie sembrada fue en este ciclo; así como, en el periodo de 2014 a 2018 en el cuál fue de 84.17 %. La superficie cosechada en los mismos periodos fueron de 93.73 % y 83.71 %, respectivamente.

Como se observa en la figura 3.1.2 la superficie siniestrada presentó una disminución en los últimos 3 años. En el decenio de 1980 la superficie siniestrada tuvo una TCMA de 2.67 %, y para los años de 1990 el crecimiento en la tasa fue de 9.44 %; para el decenio de los 2000 el crecimiento de la tasa fue de 1.50 % y en el periodo de 2010 a 2018 se presentó un decrecimiento de 11.17 %.

Figura 3.1.2. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz de PV, 1980-2018.



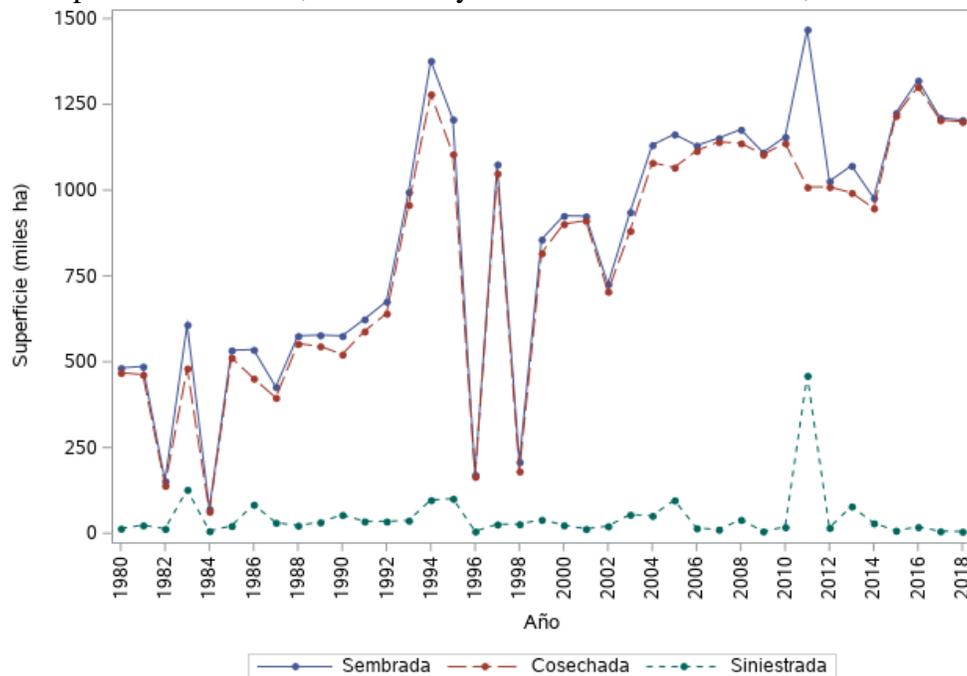
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

La superficie sembrada para el ciclo OI ha presentado un crecimiento. En el periodo de 1984 a 1988 fue de 5.73 % y en el periodo de 2014 a 2018 fue de 15.83 %. La superficie cosechada en los mismo periodos fueron de 6.27 % y de 16.29 %, respectivamente.

En la figura 3.1.3 se observa que la superficie siniestrada para el ciclo OI ha sido menor en comparación con PV. En el decenio de 1980 la superficie siniestrada tuvo una TCMA de 8.67 %,

y para los años de 1990 la TCMA fue de -3.00 %, para el decenio de los 2000 fue de -12.76 % y en los años de 2010 a 2018 se presentó un decrecimiento de 13.00 %, sin embargo en 2011 la superficie sembrada fue de 1,468 mil ha y se cosecharon 1,009 mil ha, lo que significa que 31.29 % de la superficie sembrada resultó con algún siniestro.

Figura 3.1.3. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de maíz de OI, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

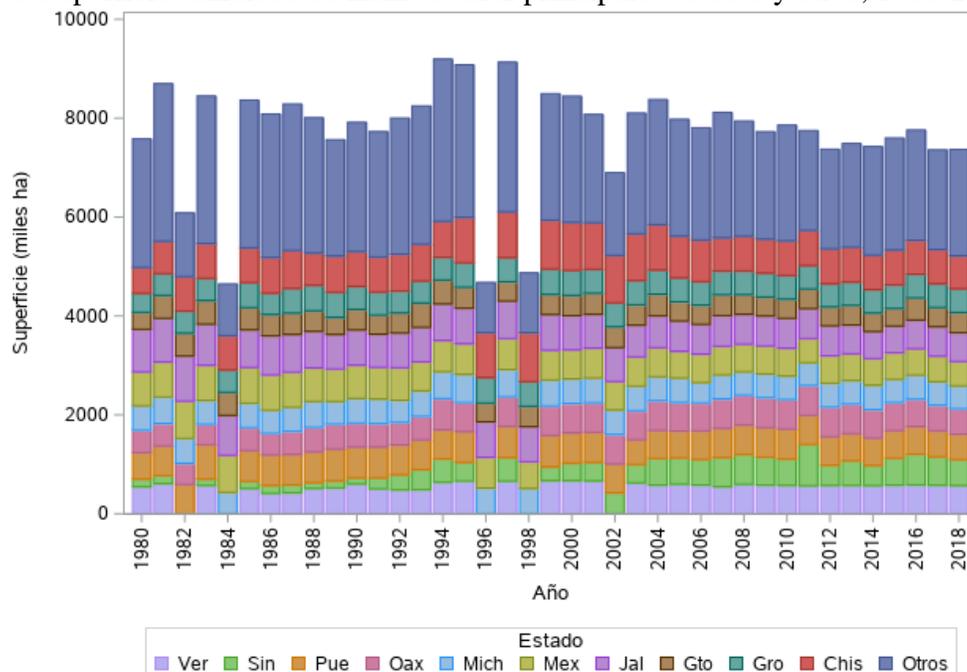
3.1.2 Principales estados con mayor superficie sembrada de maíz

En la figura 3.1.4 se puede observar los cambios en la superficie cultivada de maíz en los principales estados con mayor superficie, tal es el caso de Chiapas, Guerrero, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Sinaloa y Veracruz.

Los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Michoacán son considerados estados con gran marginalidad y la superficie sembrada y cosechada se ha incrementado como consecuencia de la incorporación de más zonas productoras con bajos rendimientos (Hernández-Trujillo, 2004).

En el estado de Sinaloa que tenía poca participación entre 1980 y 1990, presentó un incremento en la superficie sembrada después de 1990. En este estado se presenta una gran competencia de los cultivos comerciales por el agua y los productores están orientados totalmente al mercado (Hernández-Trujillo, 2004).

Figura 3.1.4. Superficie sembrada de maíz de diez principales estados y otros, 1980-2018.

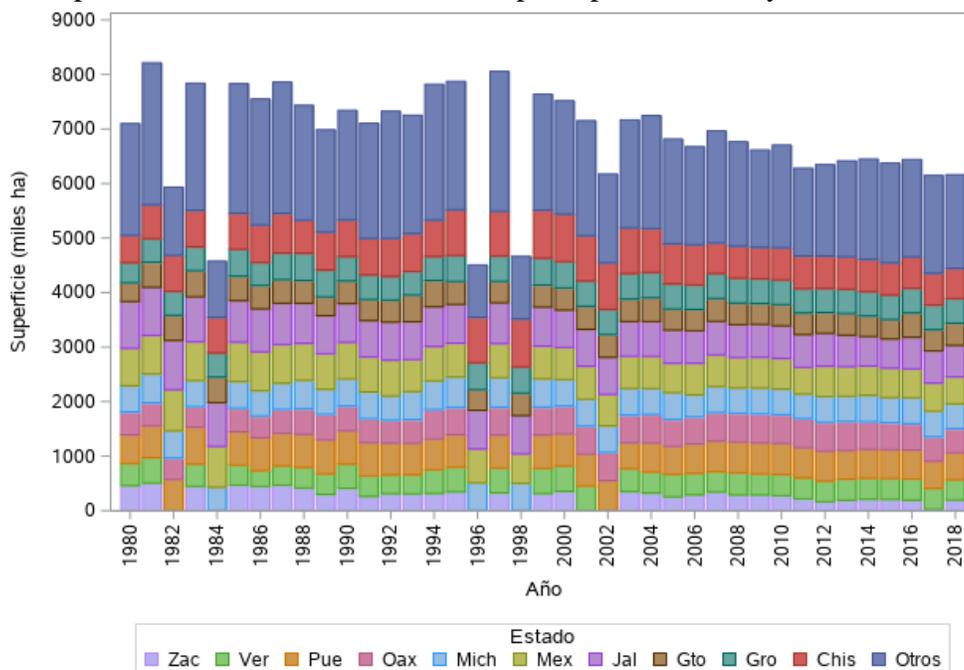


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

Los principales estados para el ciclo de PV fueron Chiapas, Guerrero, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Zacatecas. En la figura 3.1.5. se puede observar que a pesar de que el estado de Zacatecas se encuentra dentro de los 10 principales estados en los últimos años la superficie cultivada ha disminuido.

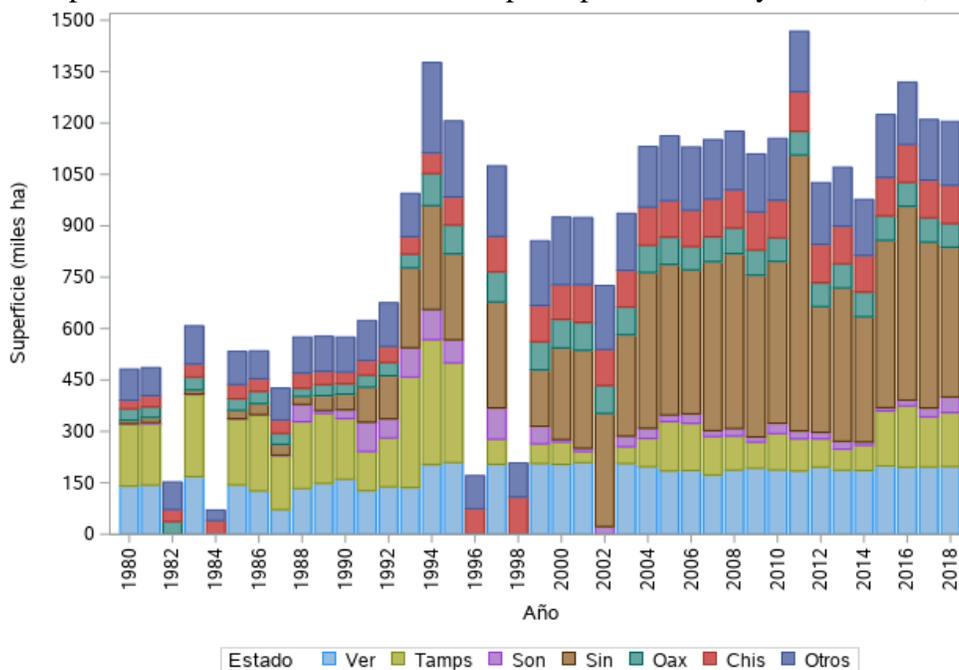
Para el ciclo OI los estados con mayor superficie sembrada son Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz, Sonora y Tamaulipas. Como ya se mencionó anteriormente los estados de Chiapas, Oaxaca y Sinaloa han presentado incrementos en la superficie sembrada principalmente en este ciclo. Mientras que los estados como Tamaulipas y Sonora han disminuido la superficie sembrada en los últimos años.

Figura 3.1.5. Superficie sembrada de maíz de diez principales estados y otros de PV, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

Figura 3.1.6. Superficie sembrada de maíz de seis principales estados y otros de OI, 1980-2018.

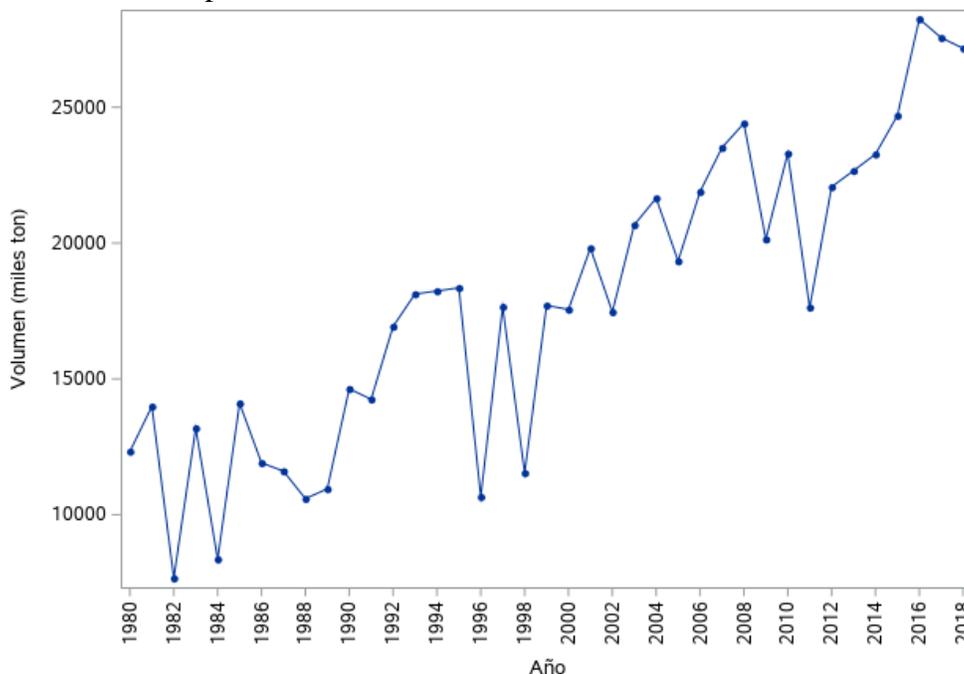


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

3.1.3 Volumen de producción de maíz

Como consecuencia del incremento en la superficie sembrada en algunos estados (Sinaloa) y el incremento de los rendimientos en otros estados (Sonora, Jalisco y Guanajuato) (Hernández-Trujillo, 2004) y como se observa en la figura 3.1.7 el volumen de producción ha aumentado en el periodo de 1980 a 2018 con una TCMA de 2.05 %.

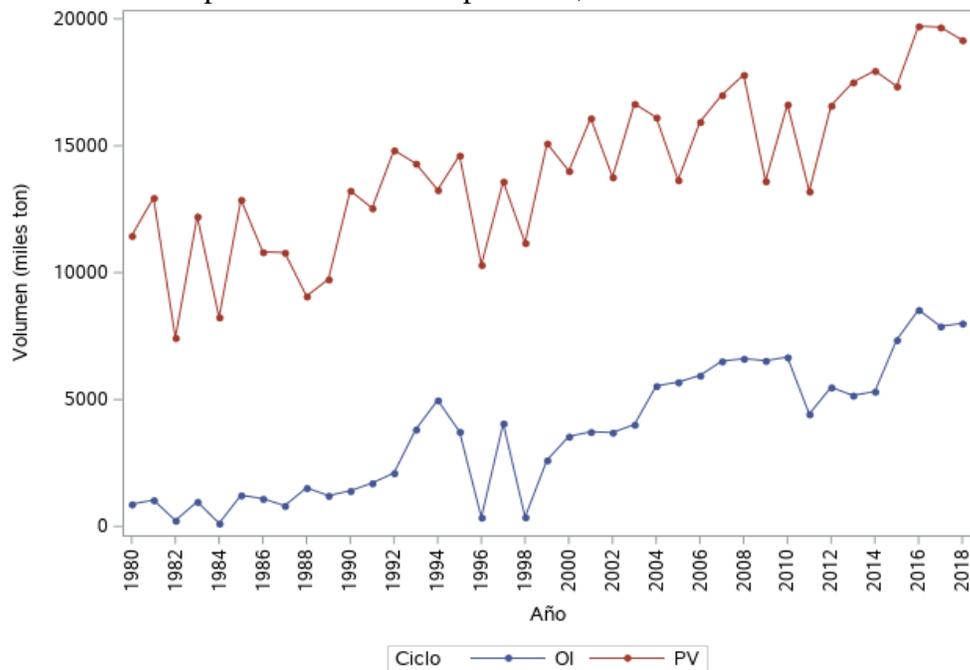
Figura 3.1.7. Volumen de producción de maíz, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

En la figura 3.1.8 se observa el incremento de la producción por ciclo. El volumen de producción para el ciclo PV entre 1980 y 2014 presentó una TCMA de 1.33 %, sin embargo se observa vaivenes en la producción. Para el ciclo OI la TCMA en el mismo periodo fue de 5.84 % y en la gráfica se observa que el volumen de producción ha tenido un crecimiento con cambios menos abruptos que en el ciclo PV.

Figura 3.1.8. Volumen de producción de maíz por ciclo, 1980-2018.



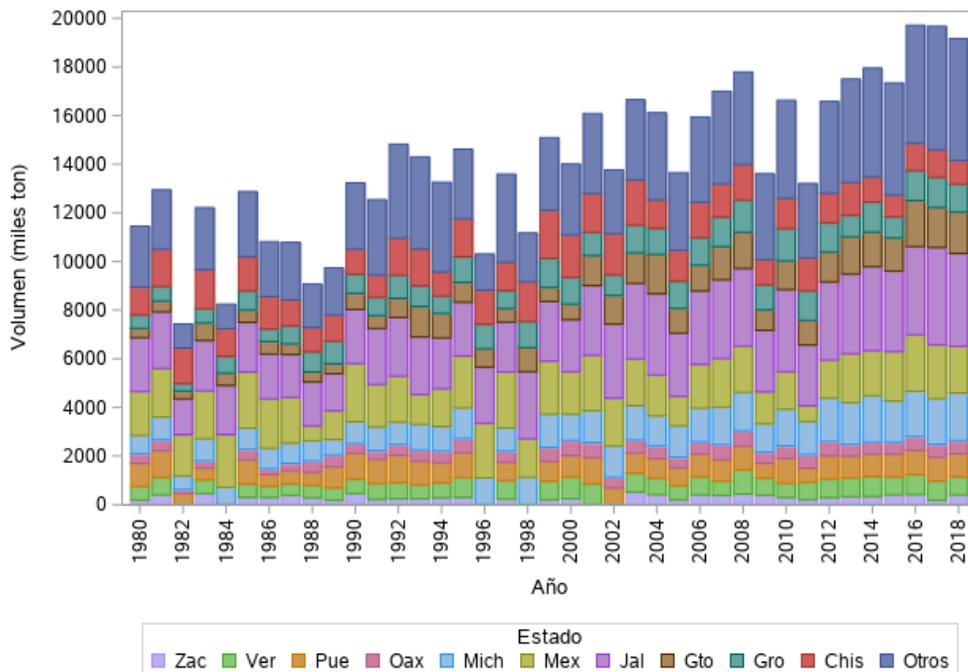
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

3.1.4 Principales estados con mayor volumen de producción de maíz por ciclo

Los estados con mayor volumen de producción en el ciclo PV son Chiapas, Guerrero, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Zacatecas. En la figura 3.1.9 se observa que el estado con mayor volumen de producción en el periodo de 1980 a 2018 para el ciclo PV fue Jalisco. Los estados de Guerrero, Guanajuato y Oaxaca han tenido un incremento en el volumen de producción.

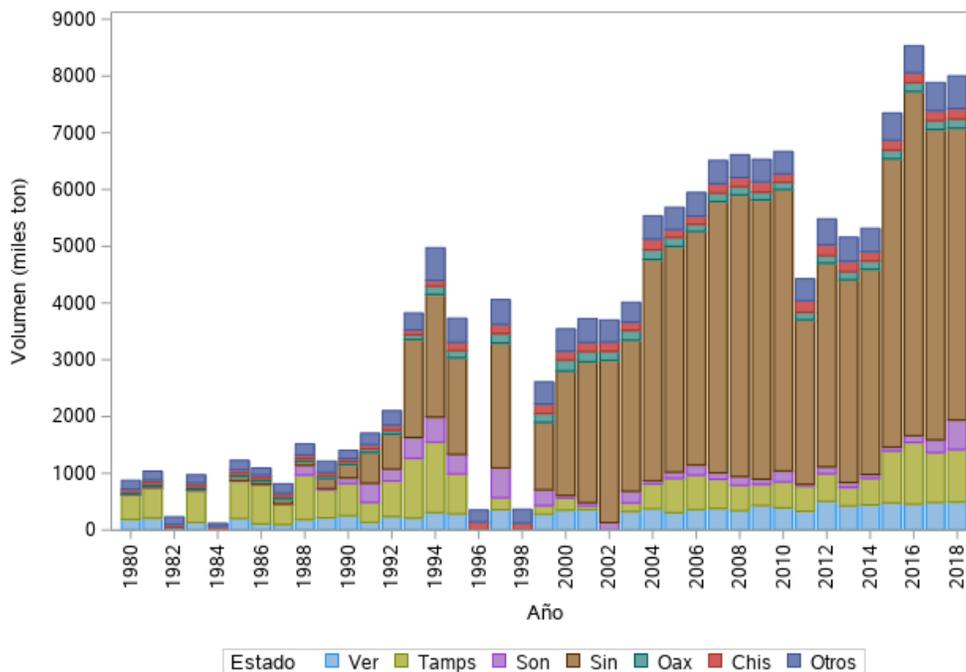
En la figura 3.1.10 se observa que el principal estado productor de maíz para el ciclo OI es Sinaloa. Los estados de Chiapas y Oaxaca también han presentado un incremento en el volumen de producción y como se mencionó anteriormente es por la incorporación de zonas productoras con bajos rendimientos.

Figura 3.1.9. Volumen de producción de maíz de diez principales estados y otros de PV, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

Figura 3.1.10. Volumen de producción de maíz de seis principales estados y otros de OI, 1980-2018.

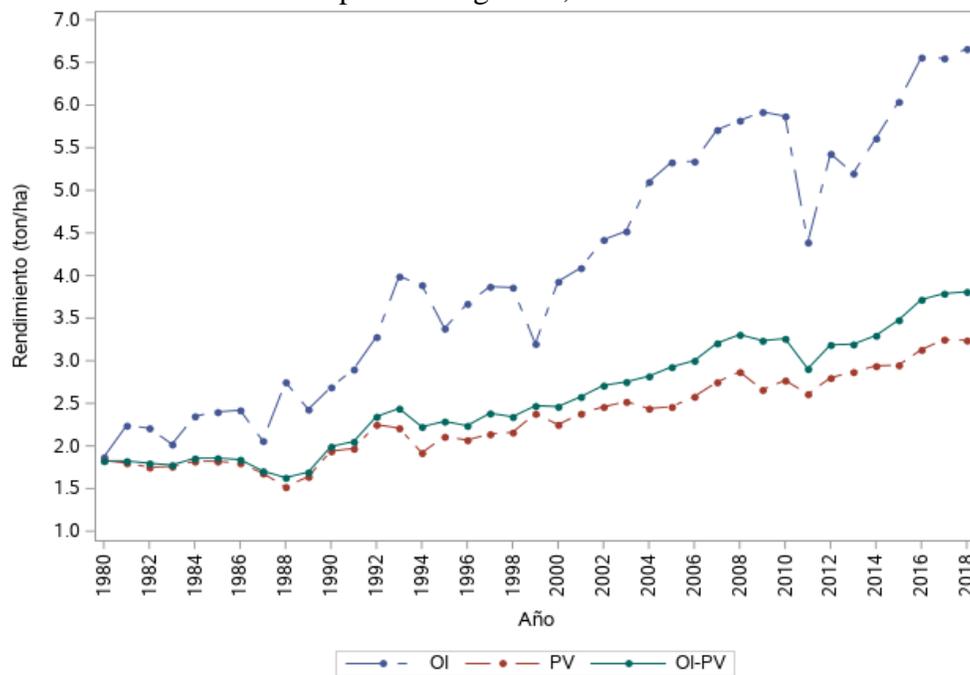


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

3.1.5 Rendimientos de maíz

En el rendimiento nacional ha tenido una TCMA de 1.90 % entre 1980 y 2018. El ciclo con mayor rendimiento es el de OI con una TCMA 3.31 % pasando de 1.87 ton/ha en 1980 a 6.66 ton/ha para 2018, aunque se observa en la figura 3.1.11 que existen años en donde el rendimiento tuvo caídas considerables. El ciclo de PV la TCMA fue de 1.48 % pasando de 1980 con 1.83 ton/ha y en 2018 con 3.24 ton/ha (figura 3.1.11).

Figura 3.1.11. Rendimiento de maíz por ciclo agrícola, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

3.2 Situación internacional de maíz

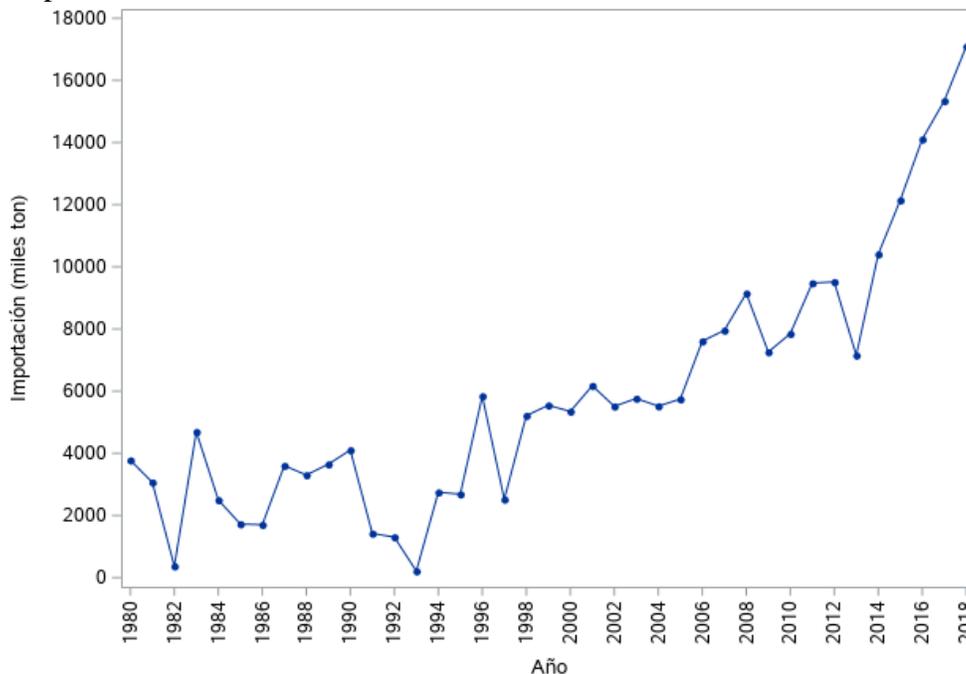
3.2.1 Importación nacional de maíz

En la figura 3.2.1 se observa que las importaciones de maíz se han incrementado entre 1980 y 2018, la TCMA en ese periodo fue de 3.95 %. Las importaciones en 1980 fueron de 3,777.28 mil toneladas y en 2010 fueron de 7,849.00 mil toneladas, sin embargo, de 2010 a 2018 la TCMA se incrementó en 9.03 %. Para 2018 las importaciones fueron de 17,095.14 mil toneladas.

Las importaciones de maíz provienen principalmente de EE.UU. En 2017 las importaciones provenientes de EE.UU. representaron el 95.72 % del total. En la figura 3.2.2 se observa que para

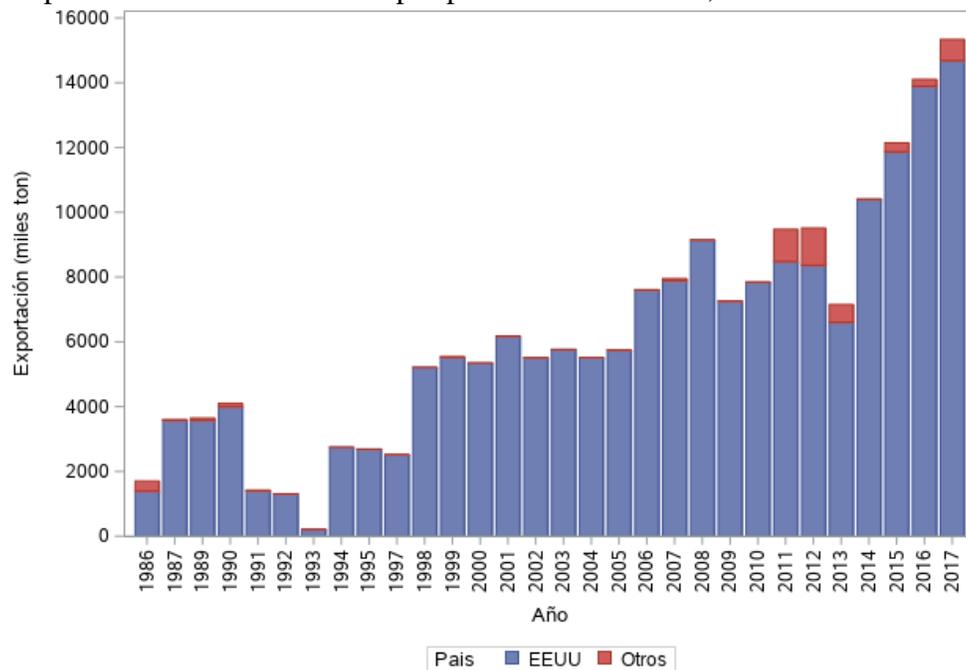
2017 las importaciones provenientes del resto del mundo incrementaron, siendo Brasil el segundo exportador de maíz para México con 3.83 % y Argentina el tercer exportador con 0.44 %.

Figura 12. Importación nacional de maíz, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAVI.

Figura 13. Importación nacional de maíz por país socio comercial, 1986-2017.

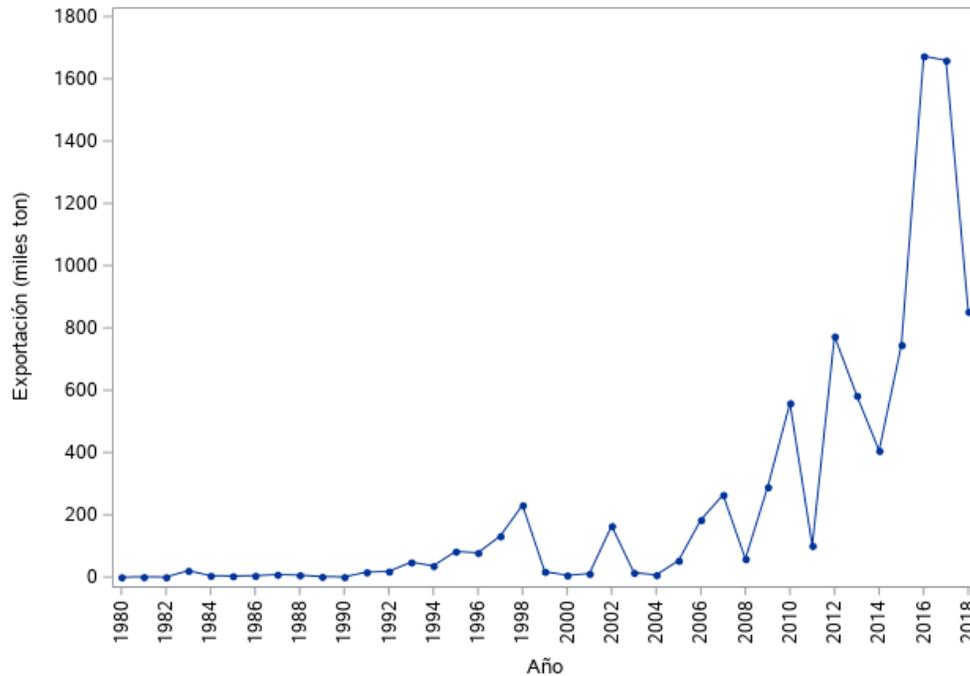


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT.

3.2.2 Exportación nacional de maíz

En la figura 3.2.3 se observa que las exportaciones de maíz mexicano han crecido entre 1980 y 2018 con una TCMA de 26.36 %. En 1980 las exportaciones mexicanas de maíz fueron 93 toneladas, en 2016 y 2017 fueron de 1672.62 mil toneladas y 1658.80 mil toneladas, respectivamente; sin embargo, en 2018 las exportaciones cayeron a 852.39 mil toneladas.

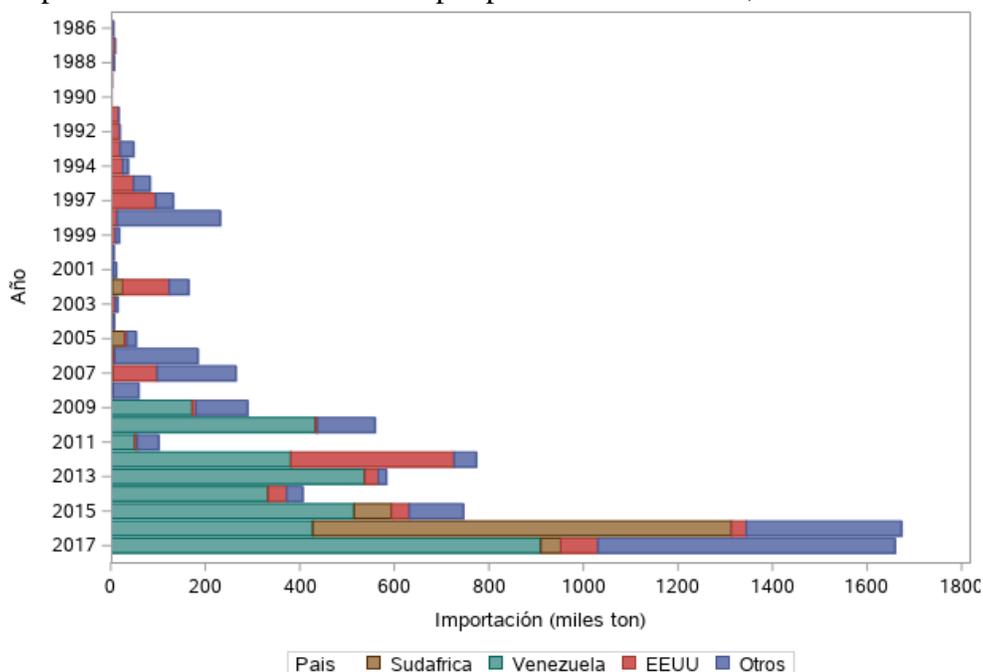
Figura 14. Exportación nacional de maíz, 1980 a 2016.



Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAVI.

Las exportaciones de maíz durante mucho tiempo fueron principalmente hacia EE.UU. En 2016 y 2017 las exportaciones a Venezuela se incrementaron. En 2017 las exportaciones a EE.UU. representaron 1.9 % de total mientras que para Venezuela fueron de 54.85 %.

Figura 15 Exportaciones de maíz mexicano por país socio comercial, 1986-2017.



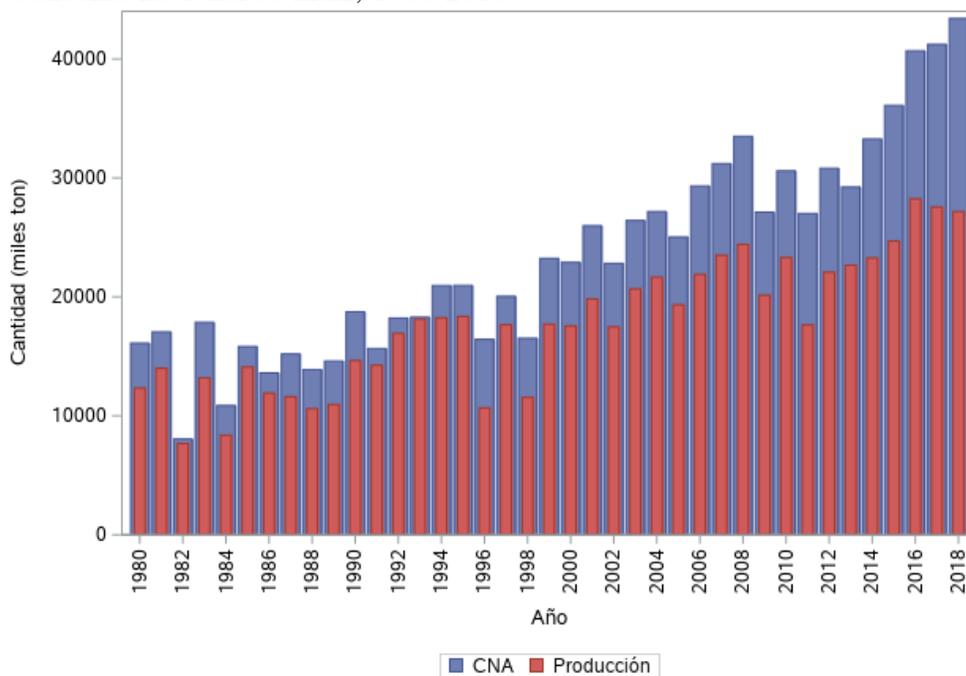
Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT.

3.3 Consumo nacional de maíz

El consumo nacional aparente (CNA) de maíz; se calculó con datos de FAO y se utilizó la fórmula de Consumo Nacional = Producción + Importaciones – Exportaciones, presentó una TCMA de 2.57 % para México. En la figura 3.3.1 se puede observar el incremento en el consumo nacional de maíz y el incremento en las importaciones principalmente en los últimos cinco años. Para conocer el grado en que un país puede satisfacer las necesidades alimentarias con su producción se utiliza el coeficiente de autosuficiencia (CA) que se calcula con la división de la producción nacional entre el CNA (Ayala-Garay, 2011; Salvador 2016). Si el coeficiente es igual o mayor que 1 el país es altamente autosuficiente (Salvador, 2016).

El coeficiente de autosuficiencia para 1988 y 1998 fue de 0.76 y 0.70, respectivamente. En 2008 y 2018 al coeficiente fue de 0.73 y 0.63.

Figura 16. Consumo nacional de maíz, 1980-2018.



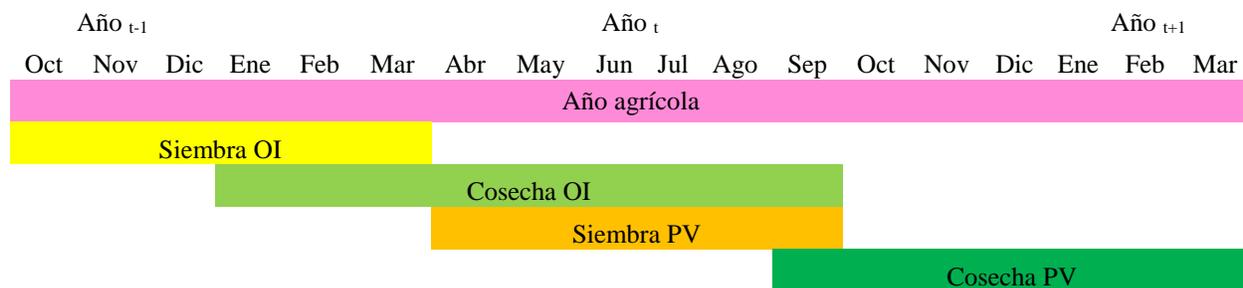
Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAP.

3.4 Calendario agrícola para maíz

El mayor volumen de producción de maíz proviene del ciclo PV. Entre 1980 y 2018 la producción del ciclo PV representó el 88.94 % y el del ciclo OI fue de 11.06 %. Sin embargo, el volumen de producción entre 1984 y 1988 para PV fue de 91.6 % y el 8.4 % en OI y comparando el periodo de 2014 a 2018 el porcentaje cambio a 71.7 % y 28.3 % para PV y OI, respectivamente.

En los últimos años (2014-2018) la superficie sembrada proviene principalmente de la modalidad de temporal para ambos ciclos. En el ciclo PV el 12.74 % y el 87.26 % provienen de la modalidad riego y temporal, respectivamente. Para el ciclo OI el 39.16 % fue en la modalidad temporal y el 60.84 % fue para riego.

Figura 17 Calendario Agrícola para cultivo de maíz por ciclo.

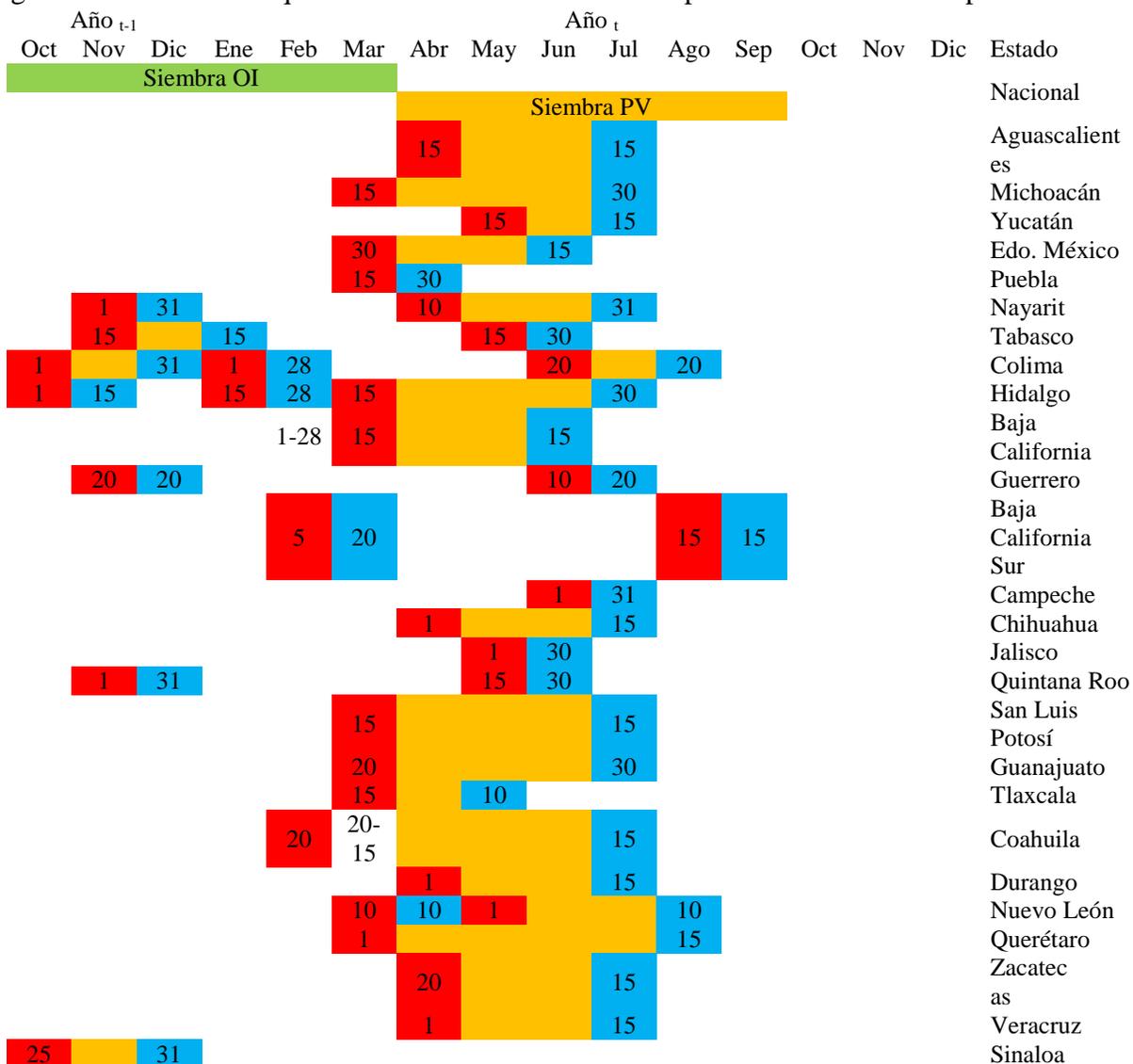


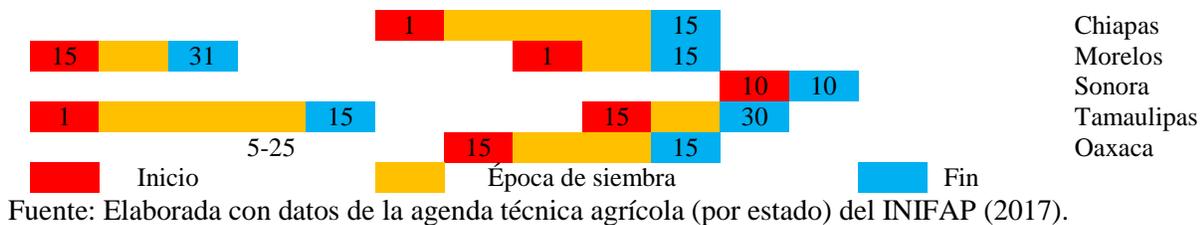
Fuente: Elaborada con datos del boletín de información oportuna del sector alimentario de INEGI.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado una agenda técnica agrícola por estado; en él cual, se encuentran los cultivos producidos en cada estado. Para el cultivo maíz se consultó la información de 31 estados.

En la figura 3.4.2 se puede observar la distribución de la época de siembra por estado. En los cuadros marcados por rojo se muestran las fechas en las cuales se debería iniciar la siembra y en los cuadros azules las fechas en las que se debería finalizar para no tener pérdidas en la producción. En algunos estados las fechas de siembra varían dependiendo la variedad de la semilla utilizada, la modalidad de cultivo (temporal o riego) o las zonas de producción. En los cuadros amarillos se marca los meses en los que se están sembrando de acuerdo a la variedad, modalidad y ubicación.

Figura 18 Fechas en las que se debería realizar la siembra para el cultivo de maíz por estado.





3.5 Requerimientos de precipitación y temperatura para maíz

Los días que dura la producción de maíz entre el establecimiento y la madurez del grano es de entre 90 a 180 días. Dependiendo de la variedad; se requieren de 80 días para variedades precoces y 200 días para variedades tardías (Díaz *et al.*, 2012).

El rendimiento potencial de maíz esta estrechamente relacionada con la cantidad de agua disponible (Ruíz-Corral *et al.*, 2013). El cultivo de maíz requiere de entre 700 a 1300 mm de precipitación media anual (SAGARPA, 2017). Considerando el estudio “Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México” delimitan que la precipitación para la producción mexicana de maíz debe estar entre los 480 a 1500 mm de agua (Díaz *et al.*, 2012).

La producción de maíz presenta tres periodos críticos por necesidad de agua: en la germinación, en las primeras tres semanas de desarrollo y en el periodo comprendido entre 15 días antes hasta 30 días después de la floración (Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

La temperatura óptima que se requiere en la producción va de los 18 a los 24 °C (SAGARPA, 2017). En el estudio de Díaz *et al.* (2012) delimitaron una temperatura óptima de entre 14 a 26 °C para México. La temperatura óptima para la germinación está entre los 18 y 21 °C; por debajo de 13 °C se reduce significativamente y <10 °C no se presenta germinación (Purseglove, 1985 citado por Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

Las temperaturas por arriba de 32 °C comienzan a ser perjudiciales. Las temperaturas superiores a 35 °C promueven la pérdida de viabilidad de polen y estigmas (Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

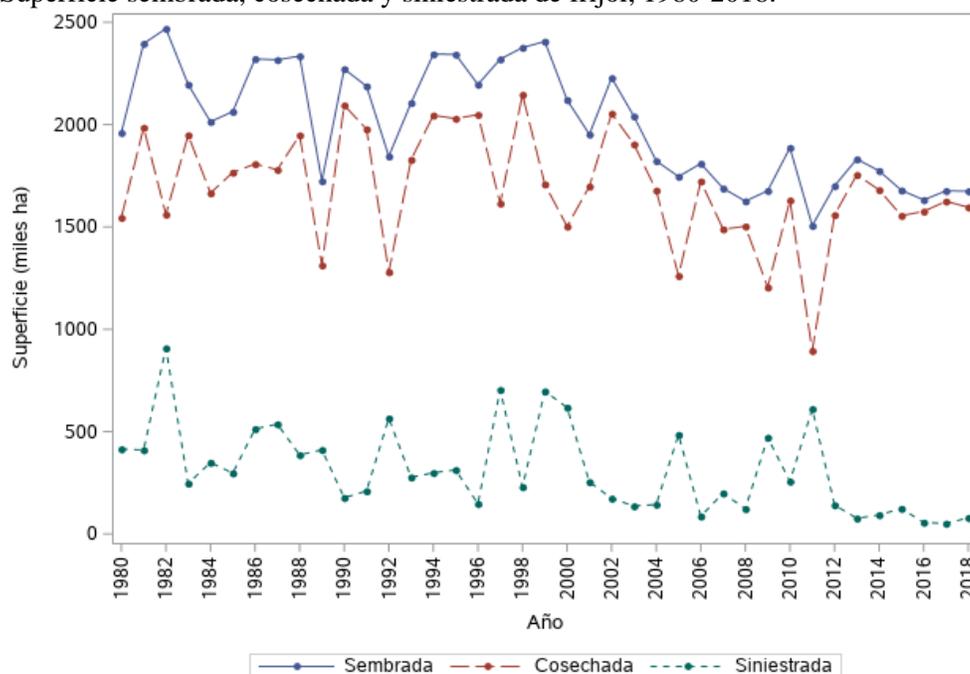
CAPÍTULO IV. SITUACIÓN DEL MERCADO DE FRIJOL

4.1 Situación nacional de frijol

4.1.1 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol

En la figura 4.1.1 se observa que la superficie cultivada de frijol presenta una tendencia a la baja. La superficie sembrada entre 1980 y 2018 tuvo una caída en la TCMA de 0.40 %. Para la superficie sembrada en el periodo de 1980 a 1989 la TCMA fue de -1.27 %, para 1990 a 1999 la TCMA fue de 0.58 %, sin embargo, en el periodo de 2000 a 2009 y de 2010 a 2018 el decrecimiento de la TCMA fue de 2.32 % y 1.32 %, respectivamente.

Figura 19 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

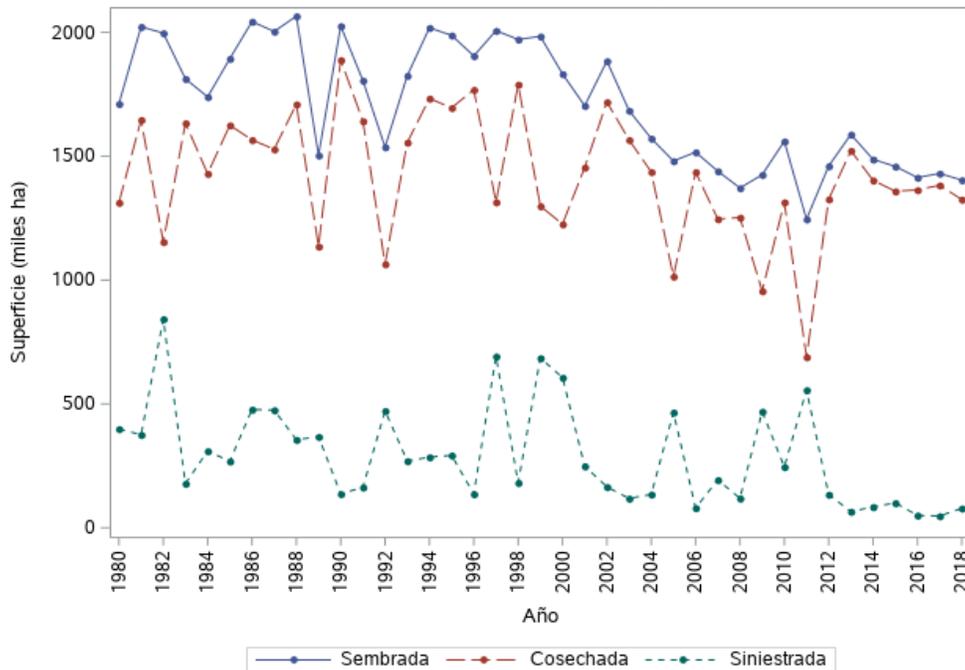
La superficie cosechada de frijol presentó TCMA negativas. En los decenios de 1980, 1990, 2000 y 2010 las tasas fueron de -1.61 %, -2.02 %, -2.18 %, -0.23 %, respectivamente. En la figura 4.1.1 se observa el comportamiento entre la superficie cultivada, en donde existen años con una gran superficie siniestrada. Para los años ochentas el 20.5 % de la superficie sembrada resultaba en siniestro, en los noventas el 16.2 % y entre 2000 y 2009 el 14.4 % de la superficie sembrada era

siniestrada, mientras que para 2010 a 2018 la superficie siniestrada era de 9.7 % respecto a la superficie sembrada.

La producción de frijol junto con la de maíz han sido cultivos que una porción de los agricultores destinan para complementar sus necesidades alimentarias básicas y a pesar de que no sea rentable siguen con la producción (Hernández-Trujillo, 2004).

La producción de frijol junto con maíz y arroz se cultiva en dos ciclos PV y OI. Entre 1980 y 2018 la superficie sembrada de frijol fue cultivada principalmente en el ciclo PV (85.37 %). Como se observa en la figura 4.1.2 la superficie sembrada y cosechada para el ciclo PV presentan una disminución. La TCMA para la superficie sembrada en este ciclo entre 1980 y 2018 fue de -0.51 % y para la superficie cosechada fue una TCMA positiva de 0.02 %.

Figura 20 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol de PV, 1980-2018.

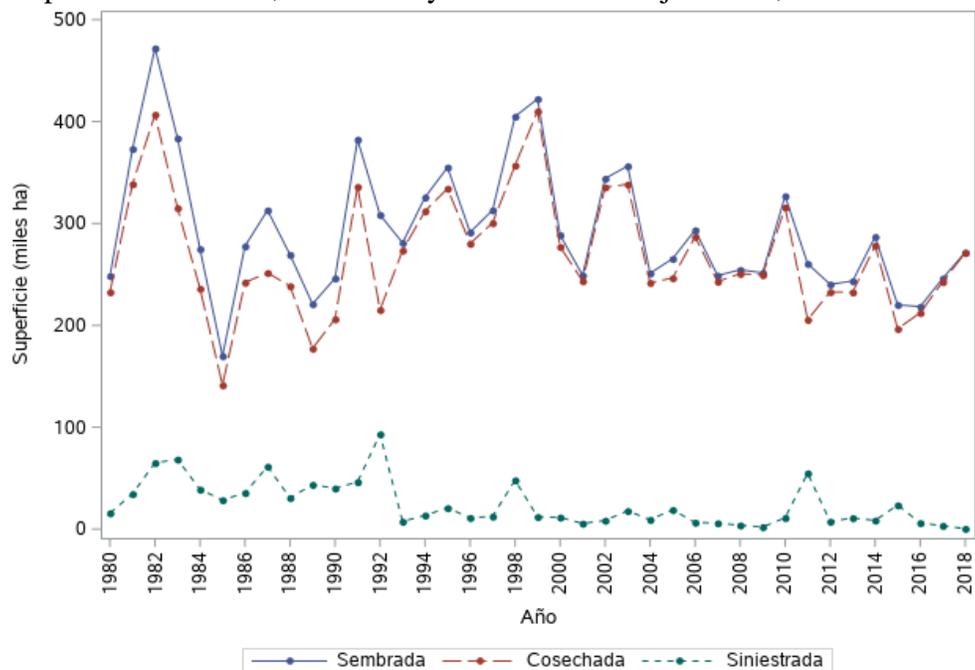


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

El frijol, al ser un cultivo sembrado principalmente en el ciclo PV, enfrenta factores que inciden de manera directa en la producción (los bajos niveles de precipitación, heladas tempranas (Ortega, 2003). En la figura 4.1.2 se observa el comportamiento en la superficie siniestrada. Los años en donde la superficie siniestrada estuvo por arriba de 30 % respecto a la superficie sembrada fue en 1982 (42.20 %), 1992 (30.72 %), 1997 (34.94 %), 1999 (34.54 %), 2000 (33.10 %), 2005 (31.47 %), 2009 (32.93 %) y 2011 (44.65 %).

Entre 1980 y 2018 el 14.6 % de la superficie sembrada de frijol fue en el ciclo OI y presentó una TCMA de 0.23 %. En la figura 4.1.3 se observa el comportamiento de la superficie sembrada, cosechada a pesar de que presentan vaivenes, ambas gráficas se encuentran muy cercanas. En el periodo analizado el 8.25 % de la superficie presentó algún siniestro. No obstante en la figura 4.1.3 se observan años en donde la superficie siniestrada tuvo crecimientos. En 1987 el 19.63 % de la superficie presentó siniestro, en 1989 (19.75 %), 1992 (30.22 %) y en 2011 (21.07 %).

Figura 21. Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de frijol de OI, 1980-2018.

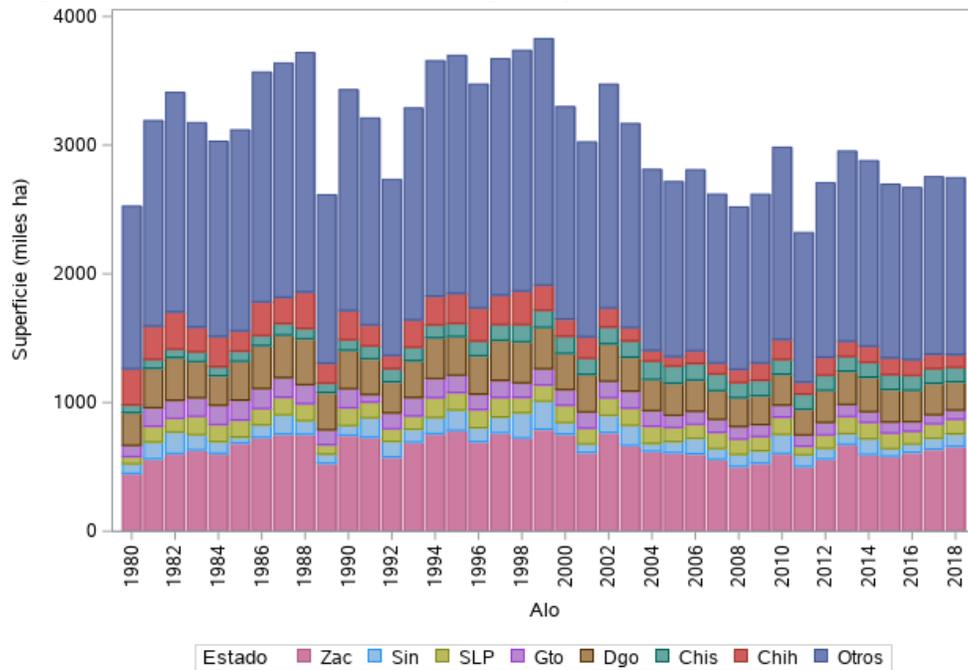


Fuente: Elaborada con datos de SIAP

4.1.2 Principales estados con mayor superficie sembrada de frijol

La producción de frijol se cultiva principalmente en el altiplano semiárido del centro-norte de México (Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato y Querétaro) (Borja-Bravo, *et al.*, 2018). En la figura 4.1.4 se observa los estados con mayor superficie sembrada, de los cuales, Chihuahua, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas se encuentran en el altiplano del centro-norte.

Figura 22. Superficie sembrada de frijol de siete principales estados y otros, 1980-2018.

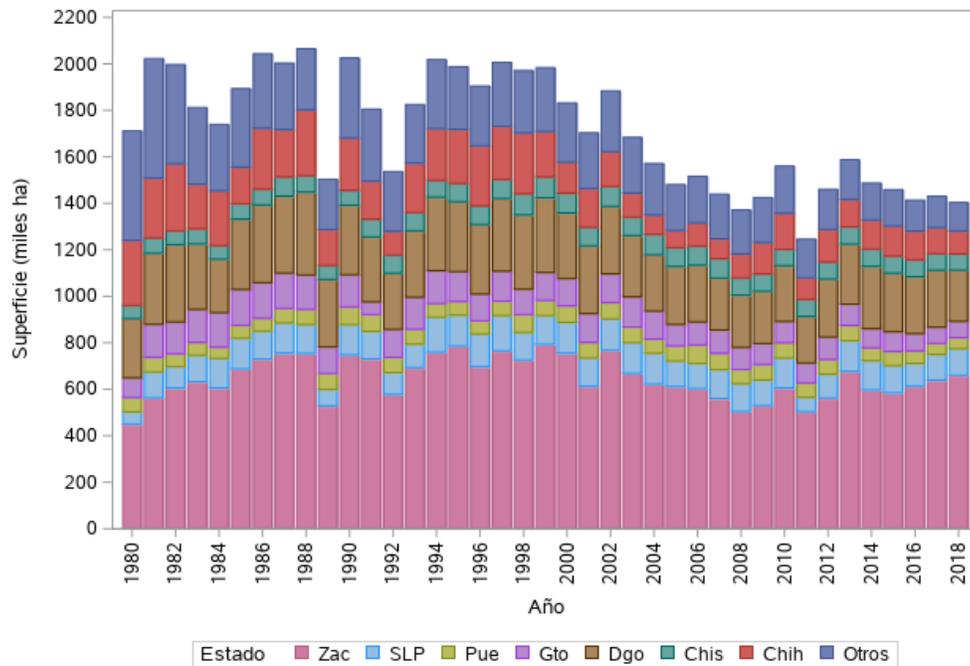


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

En los estados de Chiapas, Zacatecas junto con Hidalgo, México y Oaxaca presentaron incrementos en la superficie cosechada a partir de 1994 debido al impacto del programa PROCAMPO (Hernández-Trujillo, 2004). Para la producción de PV los estados del altiplano del centro-norte siguen siendo los que tienen mayores hectáreas sembradas, sin embargo, Zacatecas es el estado que sobresalta de la figura 4.1.5.

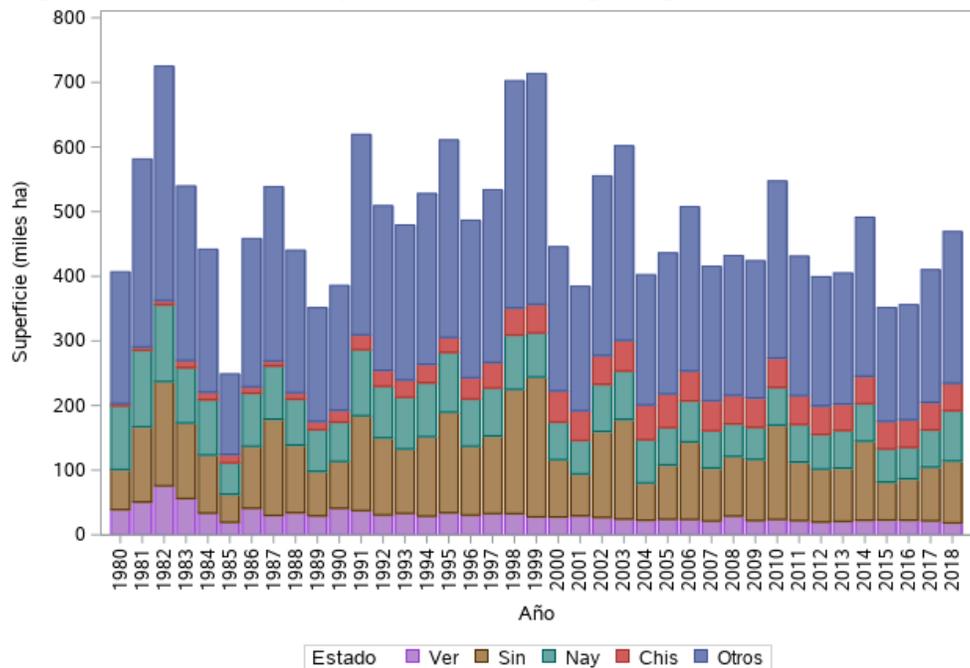
Para el ciclo OI los principales estados productores fueron Chiapas, Nayarit, Sinaloa y Veracruz. En la figura 4.1.6 la superficie sembrada en el estado de Chiapas presentó variaciones en la superficie. El estado de Chiapas presentó un incremento en la superficie cultivada y en los últimos años se observa constantes.

Figura 23. Superficie sembrada de frijol de siete principales estados y otros de PV, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP

Figura 24 Superficie sembrada de frijol de OI de cuatro principales estados y otros, 1980-2018.

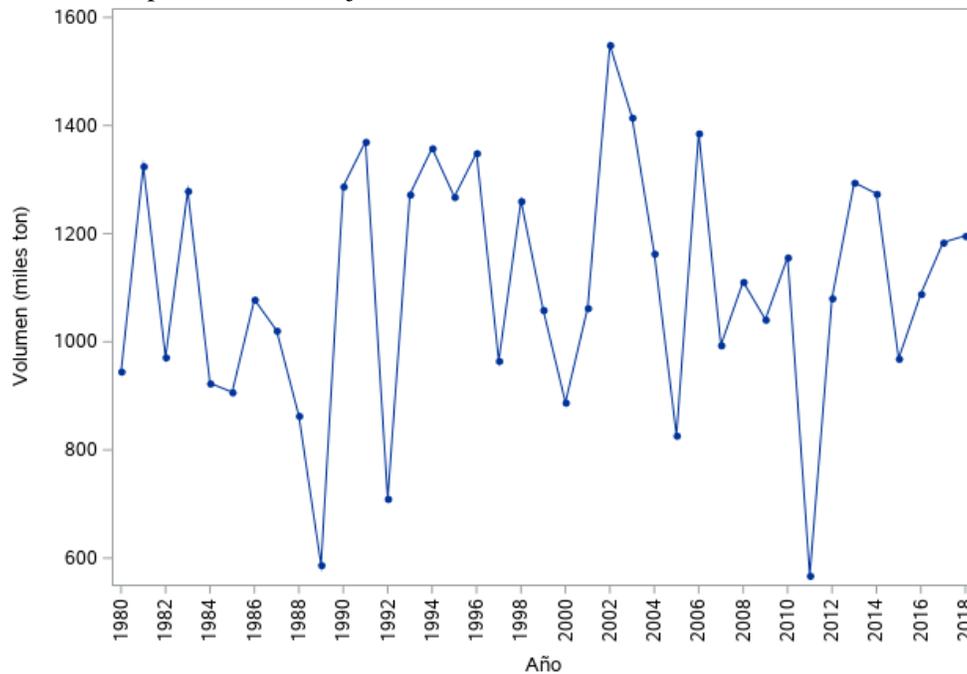


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

4.1.3 Volumen de producción de frijol

El cultivo de frijol presenta vaivenes en el volumen de producción como consecuencia de la descapitalización del sector, la insuficiencia y mal estado de la maquinaria (De los Santos-Ramos, *et al.*, 2017), las plagas, enfermedades y la falta de apoyo para recuperar los suelos degradados (Ayala-Garay, *et al.*, 2008).

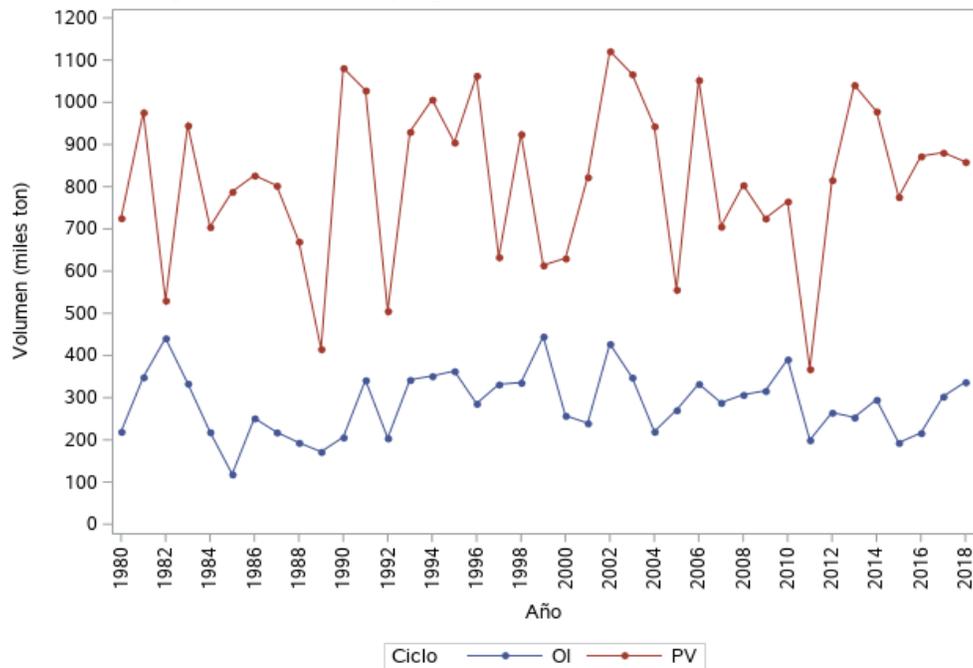
Figura 25 Volumen de producción de frijol, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

En la figura 4.1.8 se observan las variaciones en la producción por ciclos. El ciclo PV mostró variaciones mas grandes en comparación del ciclo OI. Los años en el que el ciclo de PV presentó caídas grandes fueron 1989, 1992, 2005 y 2011.

Figura 26. Volumen de producción de frijol por ciclo, 1980-2018.

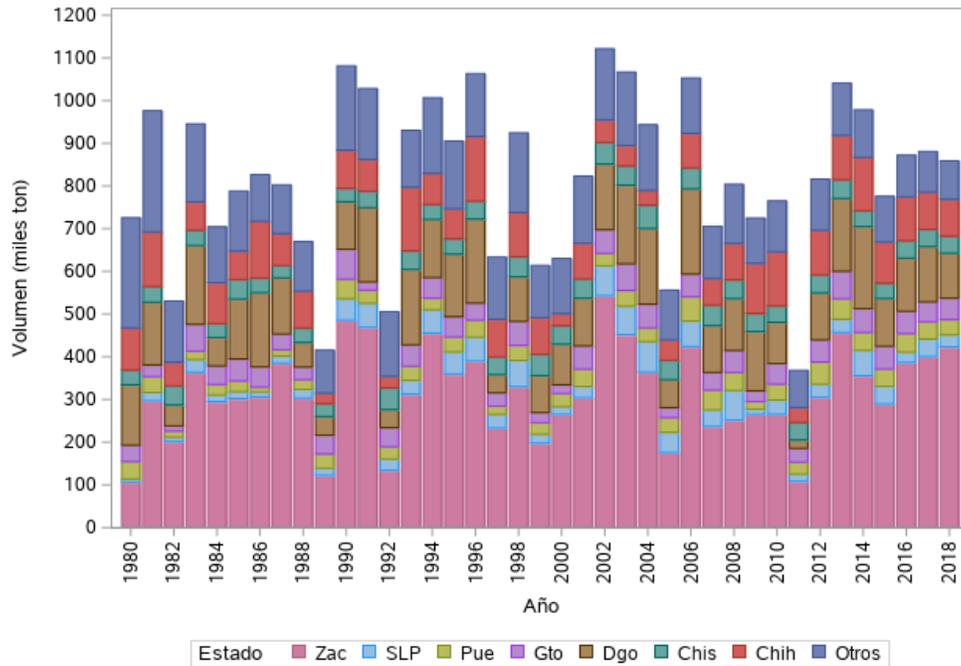


Fuente: Elaborada con datos de SIAP

4.1.4 Principales estados con mayor volumen de producción de frijol por ciclo

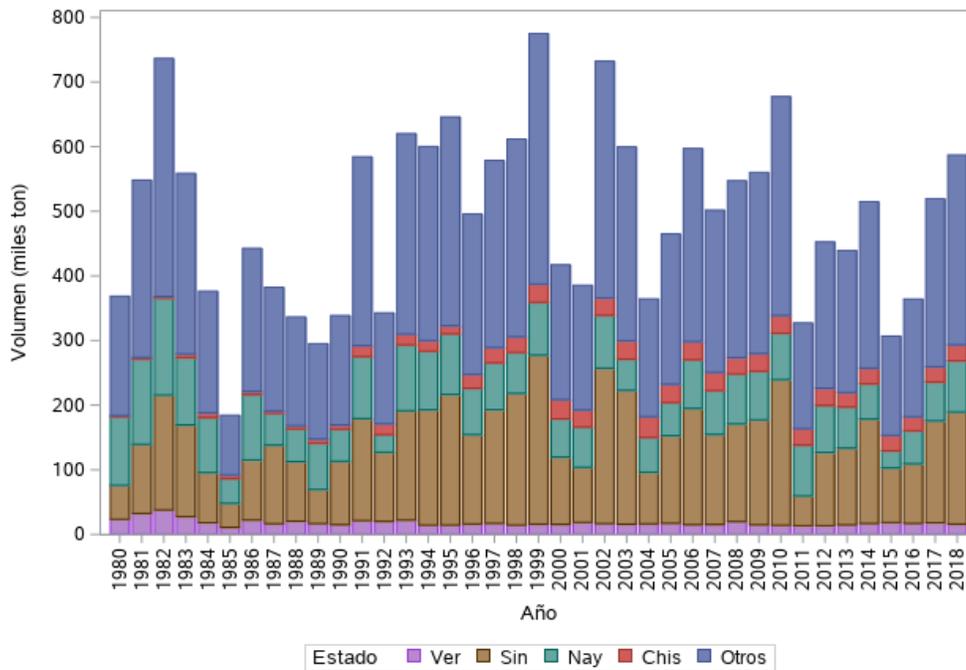
Los estados con mayor volumen de producción son los que presentaron mayor superficie sembrada. El estado con mayor volumen de producción fue Zacatecas. Los estados de Chihuahua, San Luis Potosí y Durango presentando años con menor volumen de producción (Figura 4.1.9) Para el ciclo OI los estados de Nayarit y Sinaloa, son los que presentaron mayor volumen de producción (Figura 4.1.10).

Figura 27. Volumen de producción de frijol de PV de siete principales estados y otros, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

Figura 28 Volumen de producción de frijol de OI de cuatro principales estados y otros, 1980 a 2018.

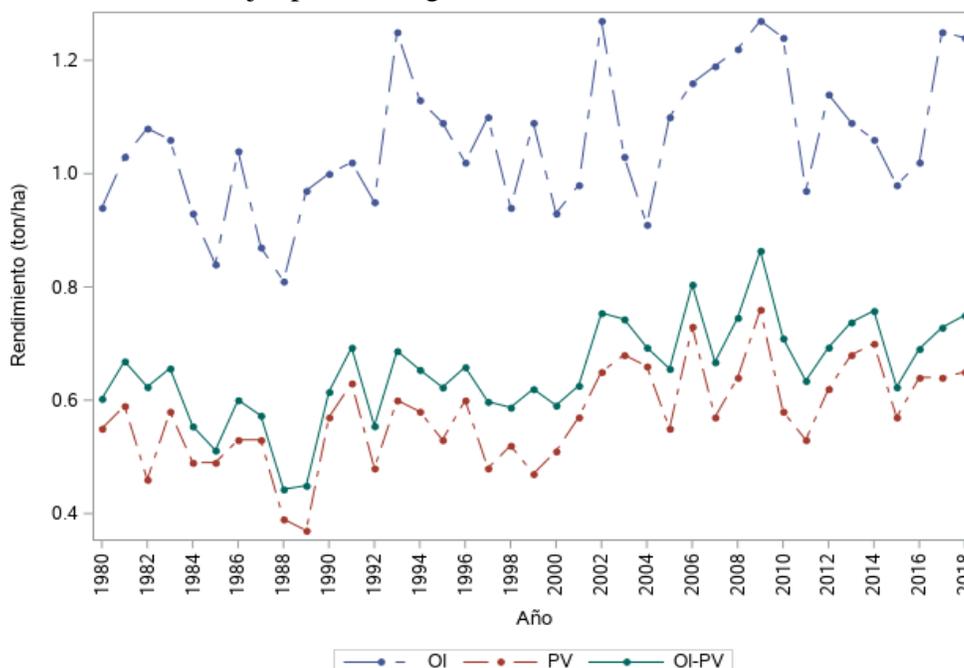


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

4.1.5 Rendimientos de frijol

El rendimiento de frijol entre 1980 y 2018 presentó una TCMA de 0.56 %. El incremento en el rendimiento de frijol se dio principalmente por la introducción de mejores paquetes tecnológicos (De los Santos-Ramos, 2017). La TCMA para el rendimiento del ciclo OI fue de 0.71 % mientras que para el ciclo PV fue de 0.43 %. El rendimiento del ciclo OI estuvo alrededor de 0.8 ton/ha y 1.3 ton/ha. Para el ciclo PV el rendimiento se encontró entre 0.3 ton ha⁻¹ y el 0.7 ton ha⁻¹.

Figura 29. Rendimiento de frijol por ciclo agrícola, 1980 a 2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

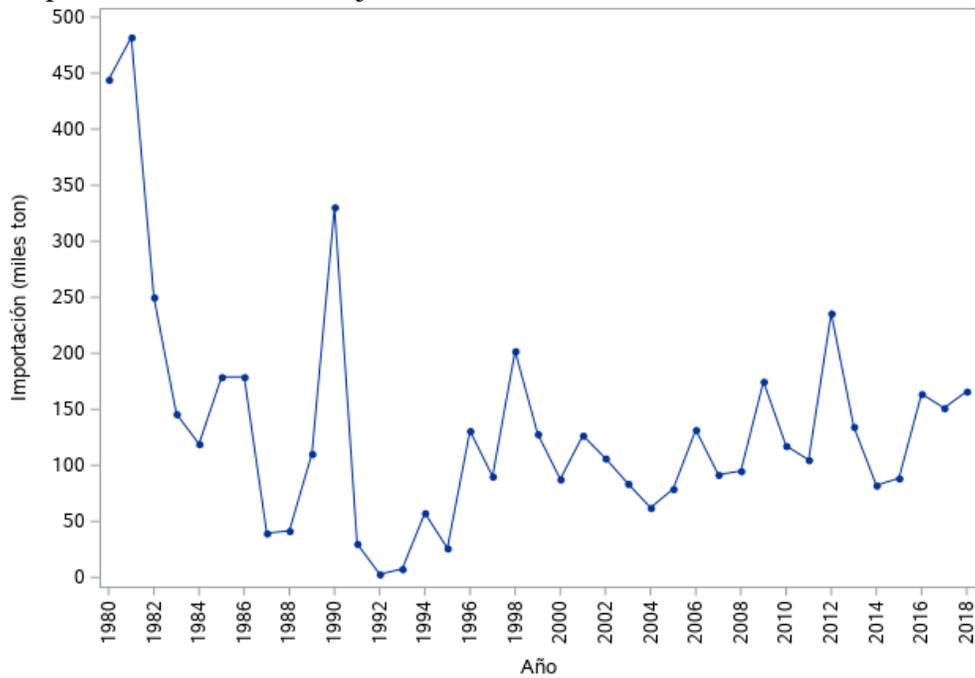
4.2 Situación internacional de frijol

4.2.1 Importación nacional de frijol

Las importaciones de frijol han disminuido con una TCMA de -2.49% entre 1980 y 2018. En el decenio de 1980 y 1990 las TCMA fueron negativas en 13.00 % y 9.05 %. Para el decenio de 2000 la TCMA fue de 7.15 % y entre 2010 a 2018 se tuvo un crecimiento de 3.92 % (Figura 4.2.1).

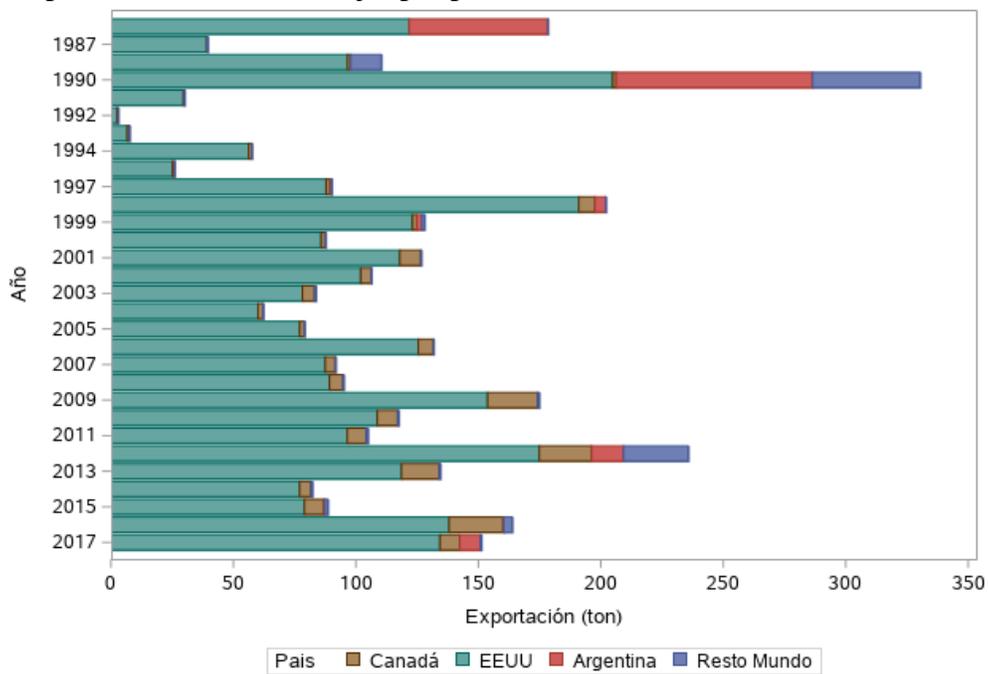
Para 2017 se importaron 151,215 ton de frijol, siendo EE.UU el principal exportador hacia México de 88.85 %, Canadá exportó 5.32 %, Argentina con 5.50 % y el Resto del mundo del 0.37 % (Figura 4.2.2).

Figura 30. Importación nacional de frijol, 1980 a 2017.



Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAVI.

Figura 31. Importación nacional de frijol por país socio comercial, 1986-2017.

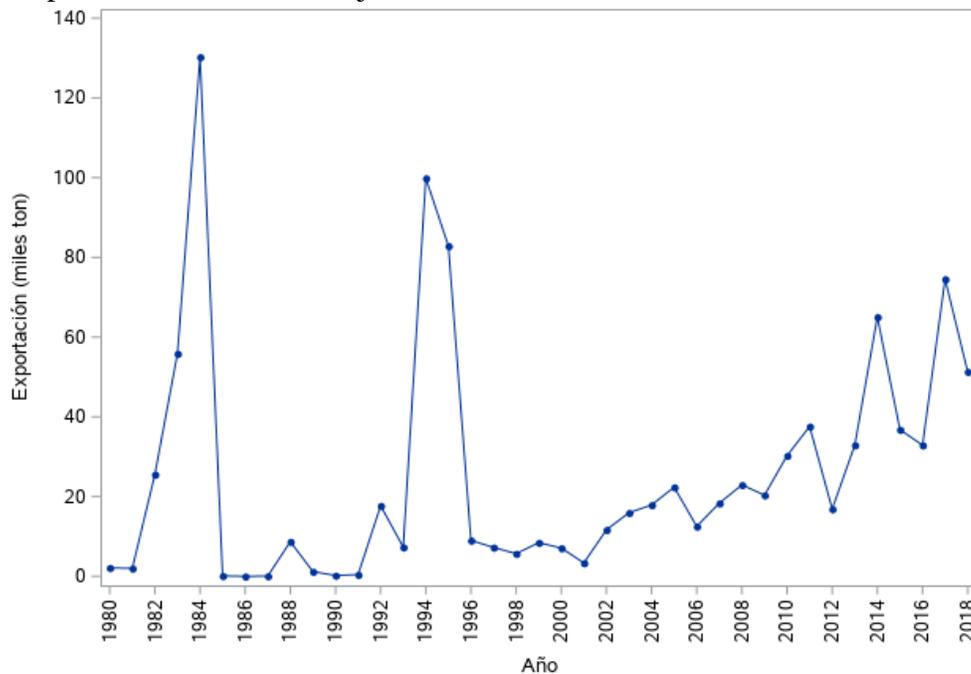


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT.

4.2.2 Exportación nacional de frijol

Las exportaciones de frijol de México al mundo crecieron de 2.1 a 51.2 mil toneladas entre 1980 y 2018, lo que representa una TCMA de 8.49 %. En el decenio de 1980, la TCMA disminuyó en 5.79 %, para 1990 a 1999 el crecimiento fue de 44.69 %, de 2000 a 2009 creció en 11.12 % y de 2010 a 2018 la TCMA fue de 6.05 %.

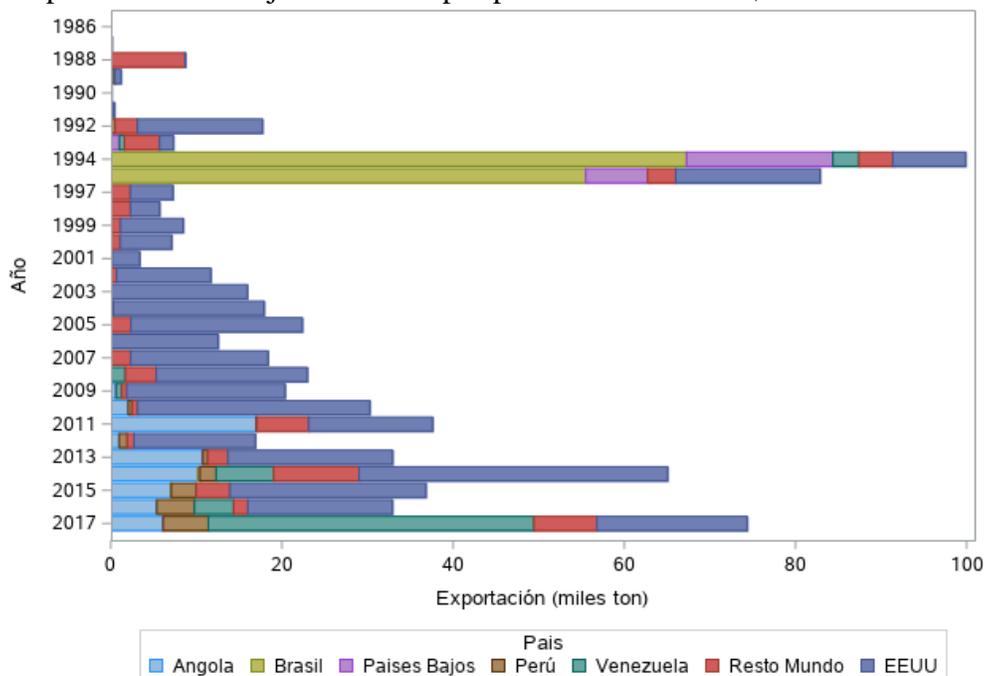
Figura 32. Exportación nacional de frijol, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAVI.

Las exportaciones de frijol mexicano han estado creciendo en los últimos años, sin embargo, en la figura 4.2.3 se observa que, en 1984, 1994 1995, 2014 y 2017 las exportaciones presentaron picos más altos. Con datos obtenidos de FAOSTAT en 1994 y 1995 las exportaciones fueron principalmente a Brasil, en 2014 fueron a EE.UU. y para 2017 a Venezuela.

Figura 33. Exportaciones de frijol mexicano por país socio comercial, 1980-2017.

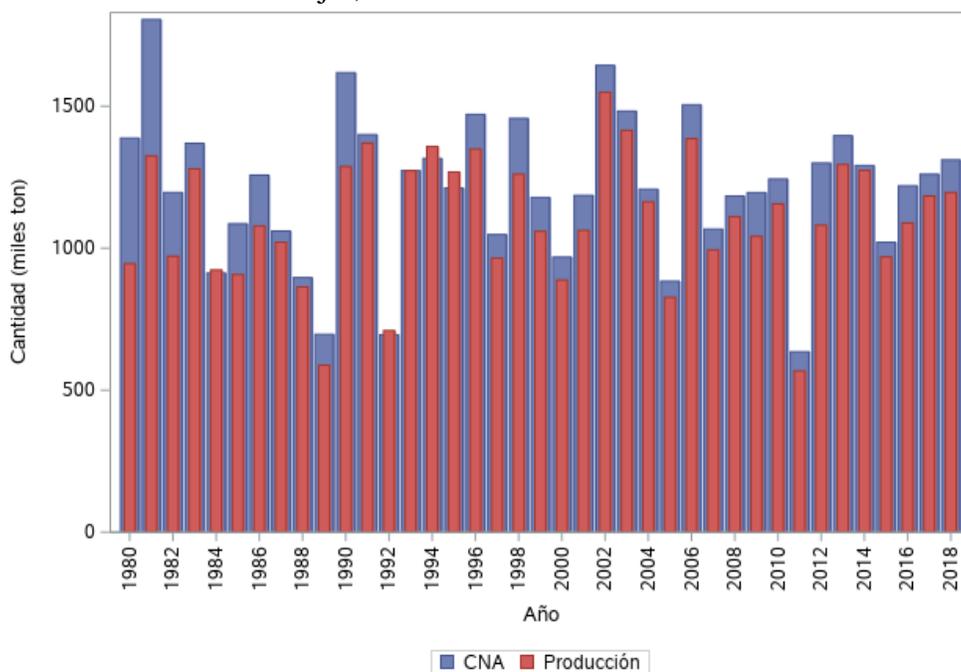


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT.

4.3 Consumo nacional de frijol

El consumo nacional de frijol, se calculó sumando la producción + importaciones – exportaciones con datos de FAO y SIAP, presentó una TCMA de -0.15 %. En la figura 4.3.1 se puede observar que el consumo nacional en frijol ha tenido vaivenes y que la producción se encuentra muy cercana al consumo, aunque hay años donde se han efectuado más importaciones. En 2018 el coeficiente de autosuficiencia fue 0.91.

Figura 34. Consumo nacional de frijol, 1980-2018.



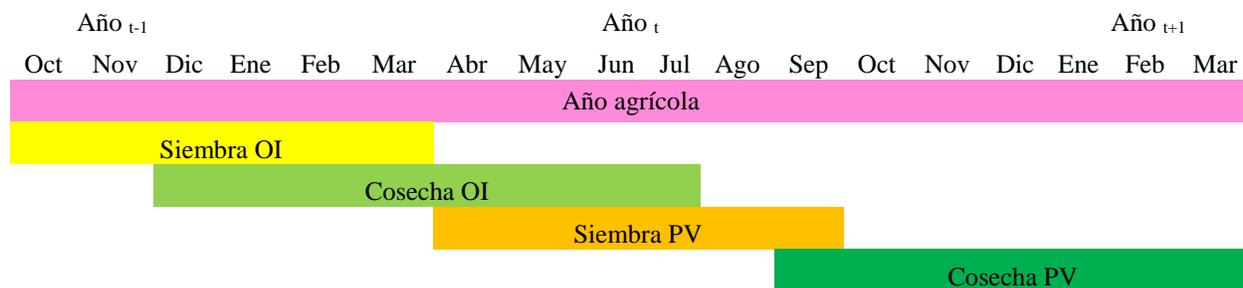
Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAP.

4.4 Calendario agrícola para frijol

El cultivo de frijol al igual que maíz se produce principalmente en el ciclo PV. Entre 1980 y 2018 el 74.02 % de la producción es en el ciclo PV y el 25.98 % en el ciclo OI. El volumen de producción entre 1984 y 1988 fue de 79.1 % para PV y de 20.9 % en OI, en el periodo de 2014 a 2018 la relación fue de 79.1 % y 23.5 % para PV y OI, respectivamente.

La superficie cultivada para el ciclo PV proviene de la modalidad de temporal en 95.06 % y de riego en 4.94 %. Para el ciclo OI la superficie sembrada fue de 49.96 % y 50.04 % para temporal y riego, respectivamente.

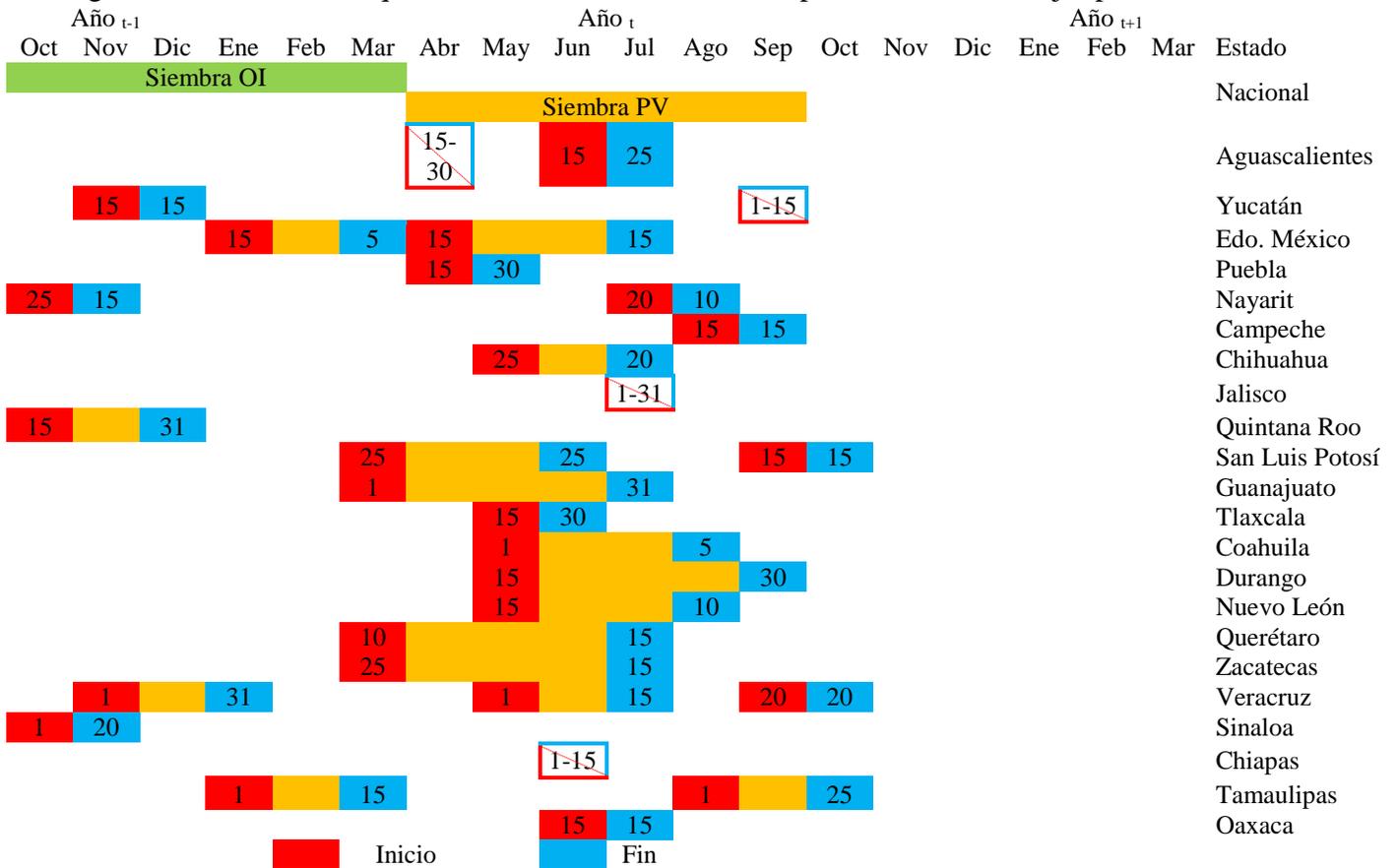
Figura 35 Calendario Agrícola para cultivo de frijol por ciclo.



Fuente: Elaborada con datos del boletín de información oportuna del sector alimentario de INEGI.

En la figura 4.4.2 se observa las fechas de siembra como deberían llevarse a cabo por estado. Al igual que en maíz los cuadros rojos y azules muestran la fecha de inicio y de fin de siembra, respectivamente, y los cuadros amarillos muestran los meses en que se deberían llevar a cabo la siembra por variedad, ubicación y modalidad. En los cuadros rojos y azules se muestra las fechas de inicio y de fin de siembra que se deberían realizar en el mismo mes.

Figura 36 Fechas en las que se debería realizar la siembra para el cultivo de frijol por estado.



Fuente: Elaborada con datos de la agenda técnica agrícola (por estado) (2017).

4.5 Requerimientos de precipitación y temperatura para frijol

La producción de frijol requiere entre 80 y 180 días entre el establecimiento y la madurez del grano (Díaz *et al.*, 2012). Este cultivo requiere de entre 1000 y 1500 mm de precipitación anuales (Ruíz-Corral *et al.*, 2013). Con base en el estudio “Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México” delimitan una precipitación de 400 a 1200 mm de agua para la producción de frijol en México (Díaz *et al.*, 2012).

La producción de frijol presenta tres periodos críticos por necesidad de agua: en la germinación, en las primeras tres semanas de desarrollo y en el periodo comprendido entre 15 días antes hasta 30 días después de la floración (Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

La temperatura óptima que requiere el frijol durante el periodo de producción va de los 10 a los 27 °C (SAGARPA, 2017). En el estudio de Díaz *et al.* (2012) delimitaron una temperatura óptima de entre 10 a 21 °C para México. En el ciclo de OI las temperaturas medias mensuales óptimas para el desarrollo del cultivo oscilan entre los 20 y 28 °C (Ruíz-Corral, *et al.* 2013).

La temperatura mínima para la germinación es de 12 °C, para el desarrollo de la planta es de 10 a 12 °C y para la floración es de 12 a 15 °C. La temperatura óptima para los tres procesos mencionados son de 15 a 25 °C, de 18 a 30 °C y de 35 a 40 °C, respectivamente. La temperatura máxima es de 30 °C, de 35 a 40 °C y de 30 a 40 °C, respectivamente (Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

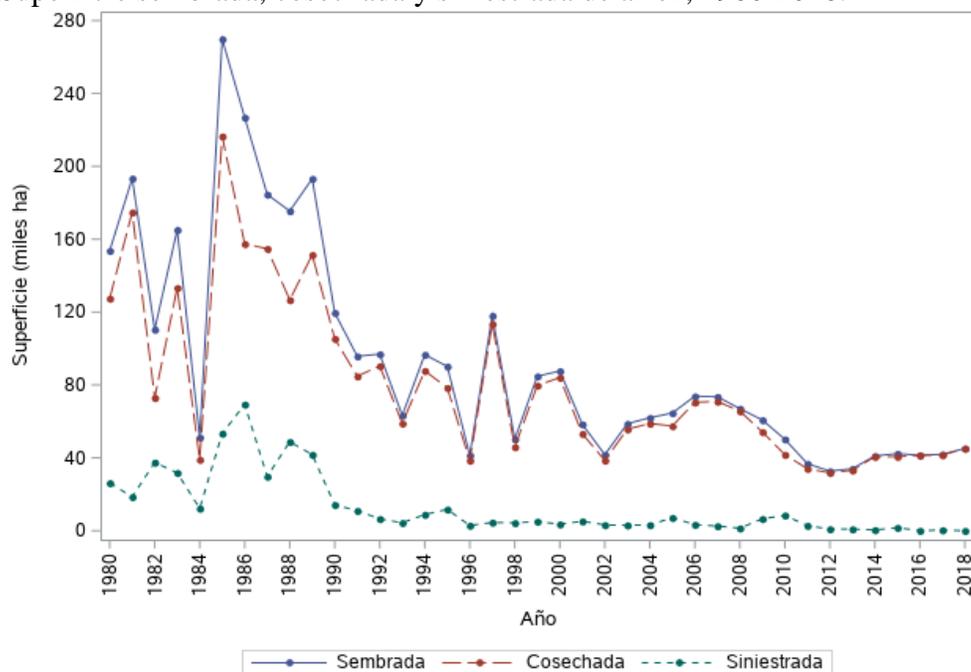
CAPITULO V. SITUACIÓN DEL MERCADO DE ARROZ

5.1. Situación nacional de arroz

5.1.1 Superficie nacional sembrada, cosechada y siniestrada de arroz

La producción de arroz de 1980 a 2018 presentó vaivenes en la superficie sembrada y cosechada (figura 5.1.1) causado por la sustitución a otros cultivos y por el cambio en el ciclo productivo; sin embargo la producción se mantiene en las zonas de mayor arraigo (GriSP, 2013; Puerco-Ornelas y García-Crescencio, 2017). A finales de los noventas en Sinaloa el cambio de arroz a maíz se dio a causa de una sequía continua en la parte norte de México y en estados con mayor recursos hídricos como Veracruz, Tabasco y Campeche se impulsó la producción del cultivo (Salin V. *et al.*, 2000).

Figura 37 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de arroz, 1980-2018.



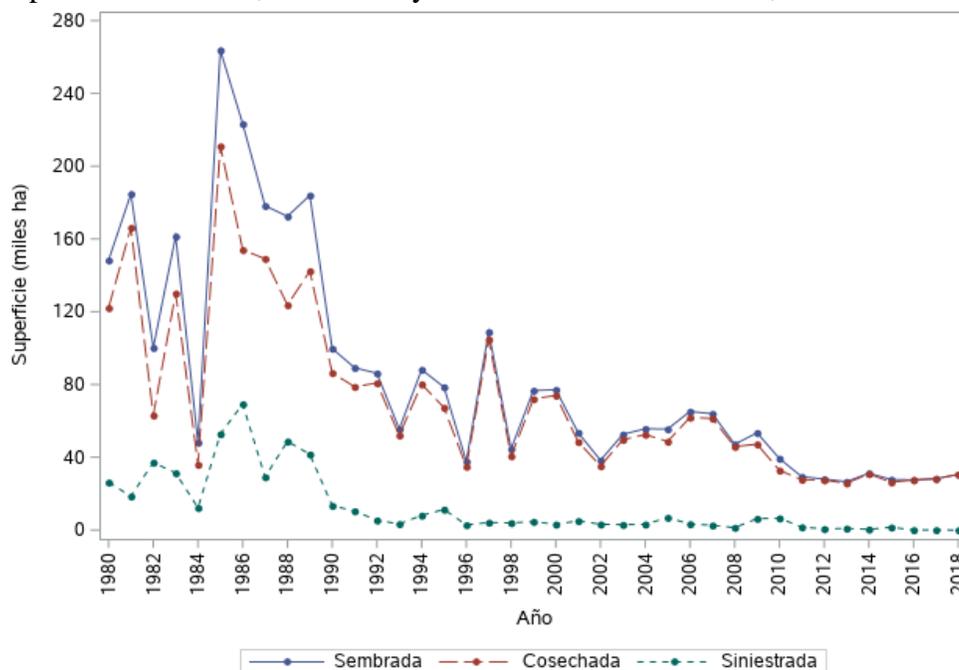
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

La superficie sembrada de arroz presentó una TCMA de -3.09 % entre 1980 y 2018. Para 1980 la superficie sembrada fue de 153.7 mil ha, mientras que para el año 2018 pasó a 45.1 mil ha. Para el mismo período la superficie cosechada tuvo un cambio de 127.5 mil ha a 45.1 mil ha con un TCMA de -2.63 %.

En la figura 5.1.1 se observa que la superficie cosechada de arroz ha tenido crecimientos y decrecimientos. En los años ochentas la superficie sembrada y cosechada presentaron una TCMA de 2.32 % y 1.74 % respectivamente. En la década de los noventas la TCMA para la superficie sembrada fue de -3.38 % y para la superficie cosechada de -2.75 %. De 2000 a 2009 la TCMA para la superficie sembrada y cosechada fue de -3.60 % y de -4.29 % respectivamente. En el periodo de 2010 a 2018 la superficie sembrada tuvo una TCMA de -1.17 % y la superficie cosechada tuvo una TCMA de 0.87 %.

A pesar de que se observa una disminución en la superficie siniestrada (figura 5.1.1), la superficie sembrada y cosechada se encuentran muy cercanas y aún se siguen registrando pérdidas, a excepción de 2018 que el registro fue de 0 ha. En el año 2015 la superficie con algún daño fue de 1673.0 ha, para 2016 fue de 43.5 ha. y en 2017 esta superficie fue de 375.6 ha.

Figura 38 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de arroz de PV, 1980-2018.

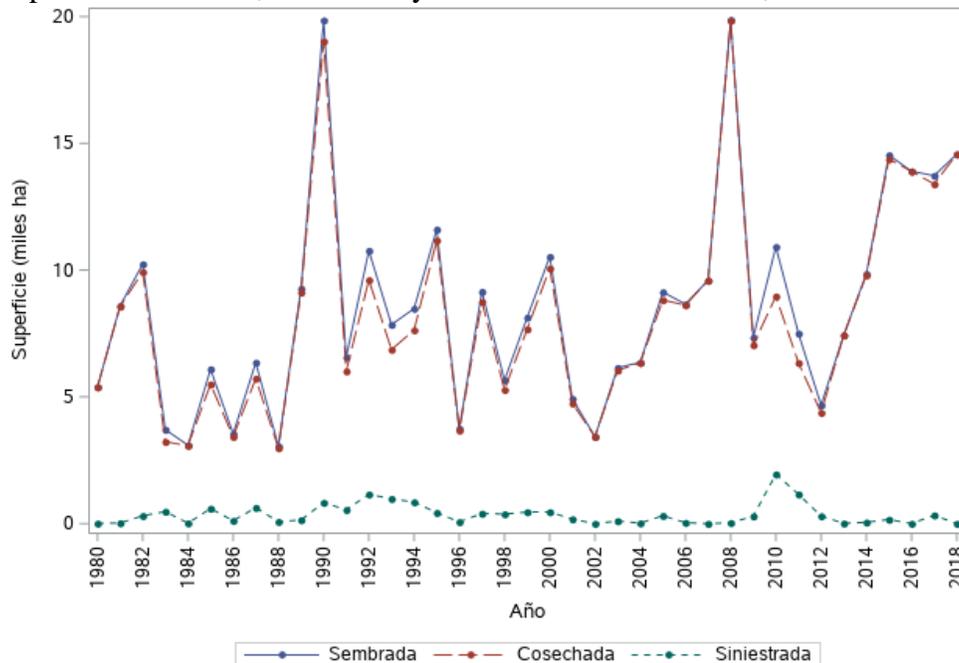


Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

En México la producción de arroz se establece en dos ciclos, Primavera-Verano (PV) y Otoño-Invierno (OI). La mayor parte del arroz se planta y alcanza la madurez durante el ciclo PV (GriSP, 2013).

Para el año 1980 el 96.5 % de la superficie sembrada fue en el ciclo PV y 3.5 % para el ciclo OI. La superficie cosechada del ciclo PV tuvo una participación del 95.8 % y el ciclo OI del 4.2 %. En 2018 en el ciclo PV se sembró y cosechó el 68.2 % de la superficie y en el ciclo OI fue de 31.8 %. En la figura 5.1.2 se observa como ha disminuido la superficie cultivada de arroz en el ciclo PV y en la figura 5.1.3 se observa el incremento en la superficie cultivada de OI.

Figura 39 Superficie sembrada, cosechada y siniestrada de arroz de OI, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP

En el periodo de 1984 a 1988 la proporción de la superficie sembrada y cosechada fue de 96.4 % para PV y de 3.6 % para OI, mientras que en el periodo 2014 a 2018 la proporción de las áreas cultivadas fue de 69.3 % y 30.7 % para PV y OI respectivamente.

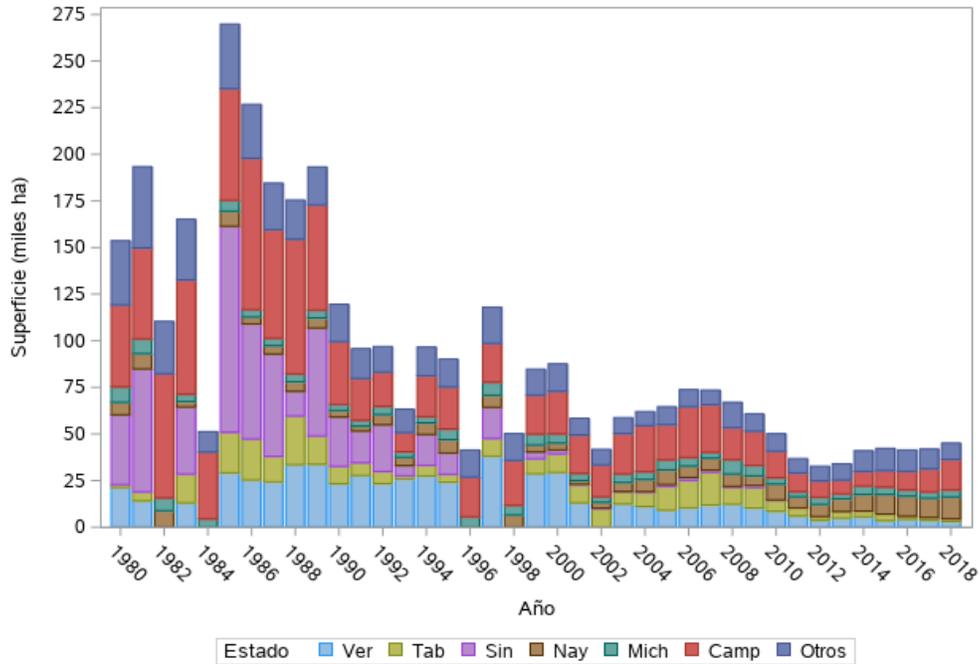
5.1.2 Principales estados con mayor superficie sembrada de arroz

Los principales estados productores de arroz de 1980 al 2000 del ciclo PV han disminuido su participación en la producción y otros estados con menor importancia han aumentado su participación; como se observa en la figura 5.1.4.

En los estados de Sinaloa, Michoacán y Morelos la reducción de la superficie cosechada se debe a la falta de competitividad en términos de precio, respecto a cultivos alternativos. En el estado de

Sinaloa otro fenómeno que agudizó la caída fue la sequía que se presentó a partir de 1992 y el desplazamiento por otros cultivos mas rentables (maíz) (Hernández-Trujillo, 2004).

Figura 40 Superficie sembrada de arroz de seis principales estados y otros, 1980-2018.



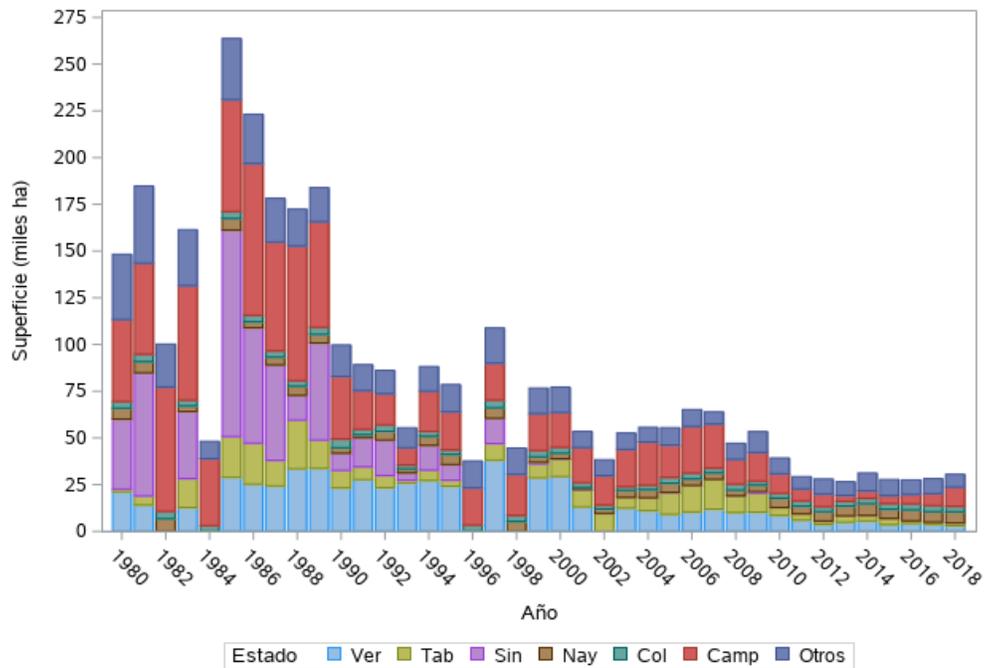
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

En los estados del sureste, donde se mantiene la superficie cultivada de arroz, existen condiciones climáticas y de calidad que permiten que el cultivo del arroz, aunque no es muy rentable, se mantenga como la principal actividad productiva (Hernández-Trujillo, 2004).

Para los años ochentas los principales estados con la mayor superficie cultivada de arroz en el ciclo PV fueron Campeche, Sinaloa y Veracruz, y presentaron un descenso en el área sembrada y el estado de Sinaloa dejó de aparecer en las estadísticas después de 2010. En los últimos años el área cultivada se concentra en los estados de Campeche, Veracruz, Michoacán y Tabasco (Figura 5.4.1).

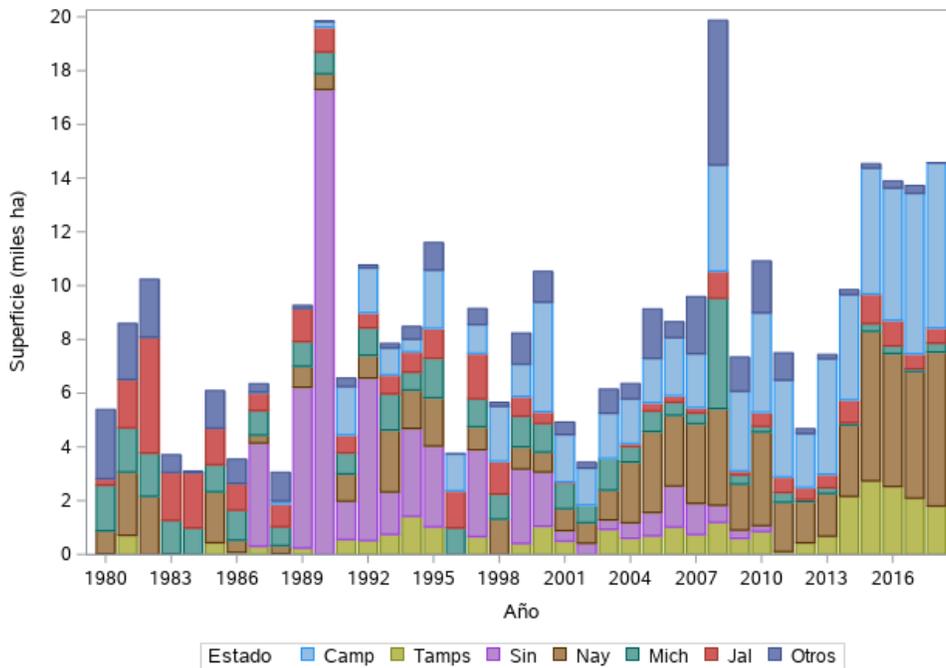
Para la producción del ciclo OI la superficie sembrada se ha concentrado principalmente en los estados de Campeche, Nayarit, Tamaulipas, Jalisco y Michoacán (figura 5.1.5). Al igual que en el ciclo PV, Sinaloa deja de aparecer en las estadísticas de arroz.

Figura 41 Superficie sembrada de arroz de PV de seis principales estados y otros, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

Figura 42 Superficie sembrada de arroz de OI de seis principales estados y otros, 1980-2018.



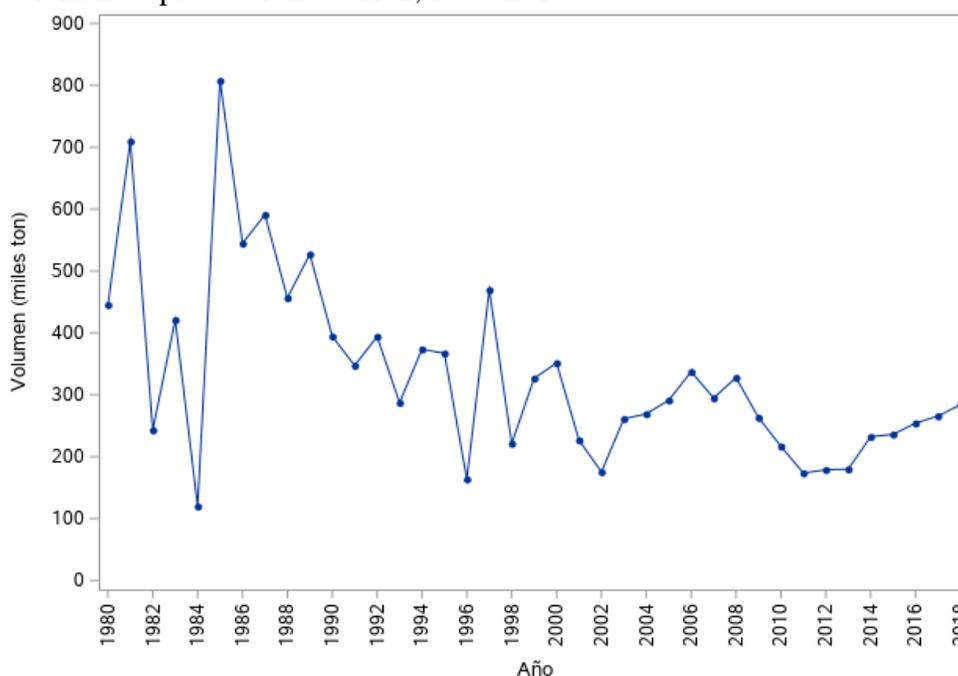
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

5.1.3. Volumen de producción de arroz

La producción nacional también presentó un decrecimiento. De acuerdo con Salin *et al.* (2000) La producción de riego ha cambiado en mayor medida que la producción de temporal siendo las áreas tradicionales de producción las que han enfrentado problemas cada vez mayores de agua.

El volumen de producción tuvo una TCMA de -1.15% entre 1980 y 2018. En la figura 5.1.7 se observa los cambios que ha tenido la producción pasando de 445.4 mil ton en 1980 a 283.8 mil ton en 2018. La producción de arroz en los años noventas tuvo una TCMA de -1.87 % y de 2000 a 2009 la TCMA fue de -2.86 %, la TCMA de 2010 a 2018 fue de 3.04 % lo que significa que la producción presenta un crecimiento después de la última caída en 2011.

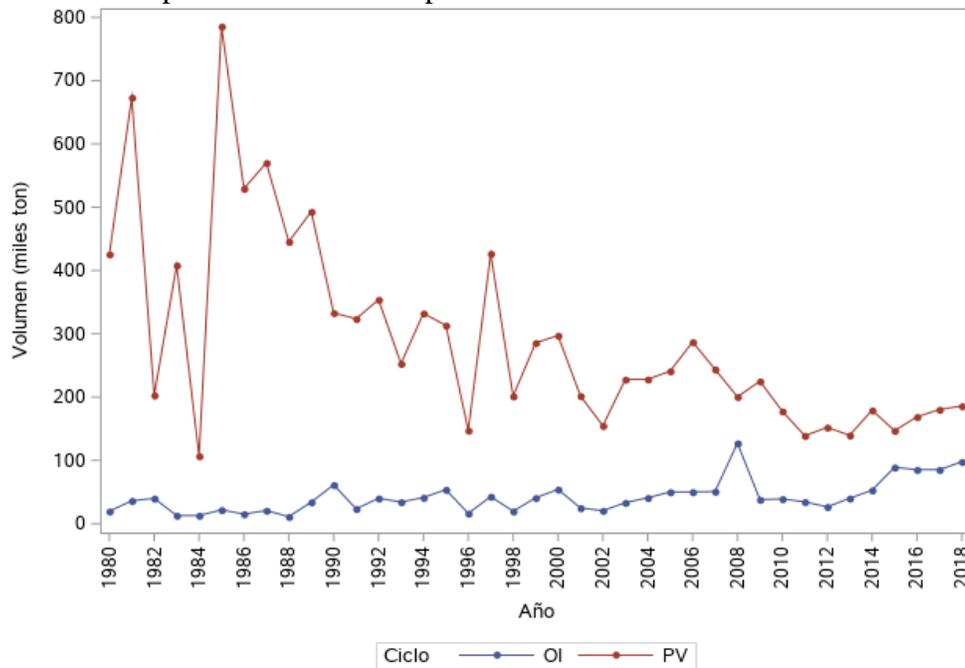
Figura 43 Volumen de producción de arroz, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

En la figura 5.1.8 se observa el crecimiento de la producción de los ciclos PV y OI. La producción del ciclo PV tuvo una TCMA de -2.24 %, pasando de 425.7 mil ton en 1980 a 185.9 mil ton en 2018. La producción del ciclo OI tuvo una TCMA de 3.94 % pasando de 19.6 mil ton en 1980 a 97.8 mil ton en 2018.

Figura 44 Volumen de producción de arroz por ciclo de 1980 a 2018.



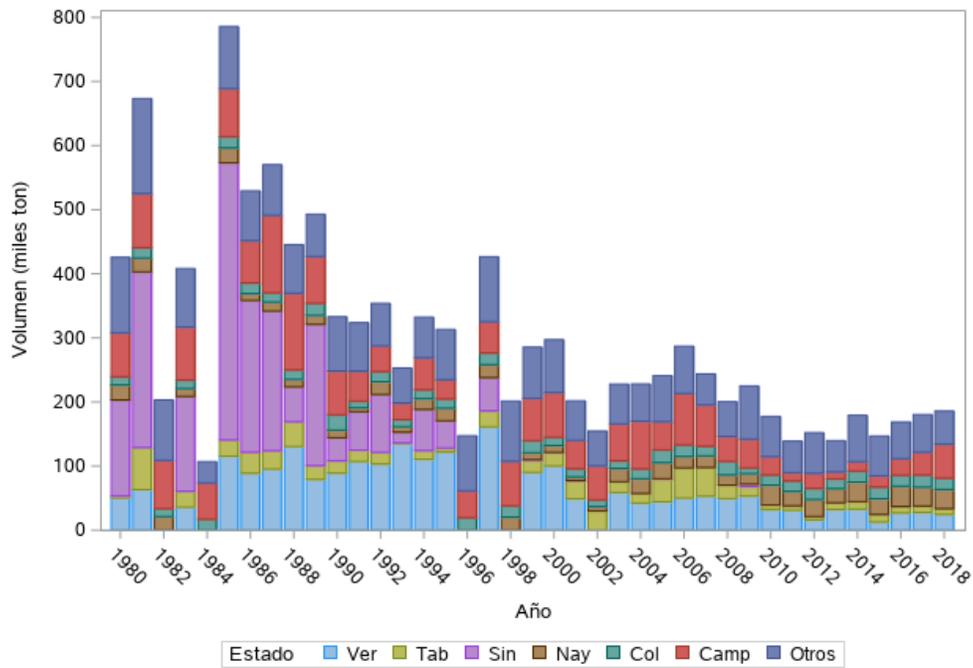
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

5.1.4 Principales estados con mayor volumen de producción de arroz por ciclo

La producción del ciclo PV hasta antes de los años noventas se dio principalmente en el estado de Sinaloa pero dada la reconversión hacia otros cultivos los estado de Campeche, Veracruz, Michoacán, Nayarit y Tabasco son los que han aportado el mayor volumen de producción y se han convertido en los principales estados productores (figura 5.1.9).

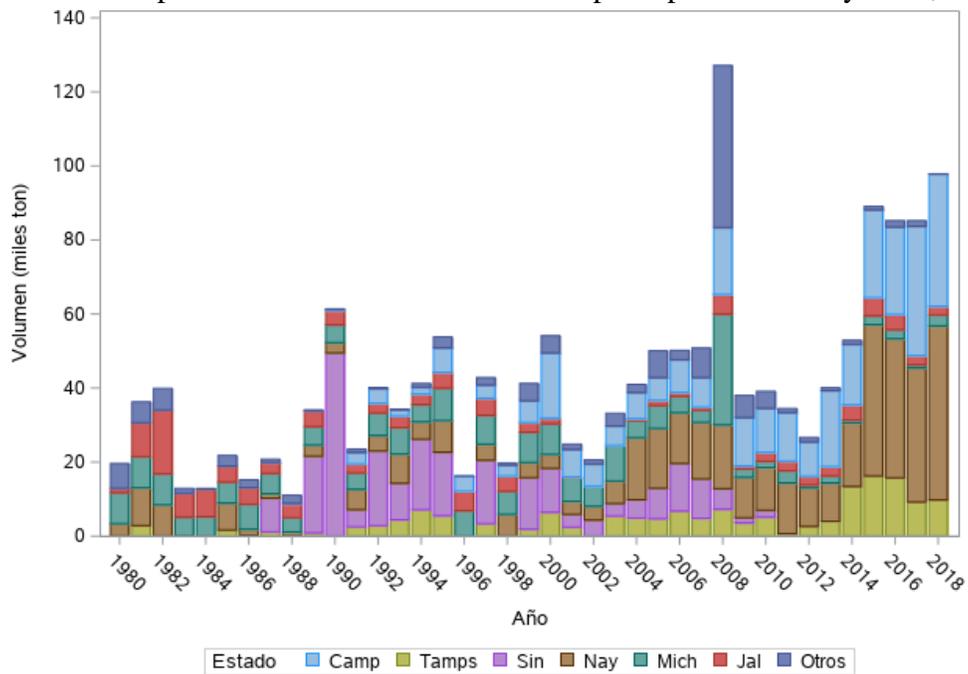
Para el ciclo OI los estados de Nayarit, Campeche y Tamaulipas han tenido mayor aporte y crecimiento en la producción nacional (figura 5.1.10).

Figura 45 Volumen de producción de arroz de PV de seis principales estados y otros, 1980-2018.



Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

Figura 46 Volumen de producción de arroz de OI de seis principales estados y otros, 1980-2018.



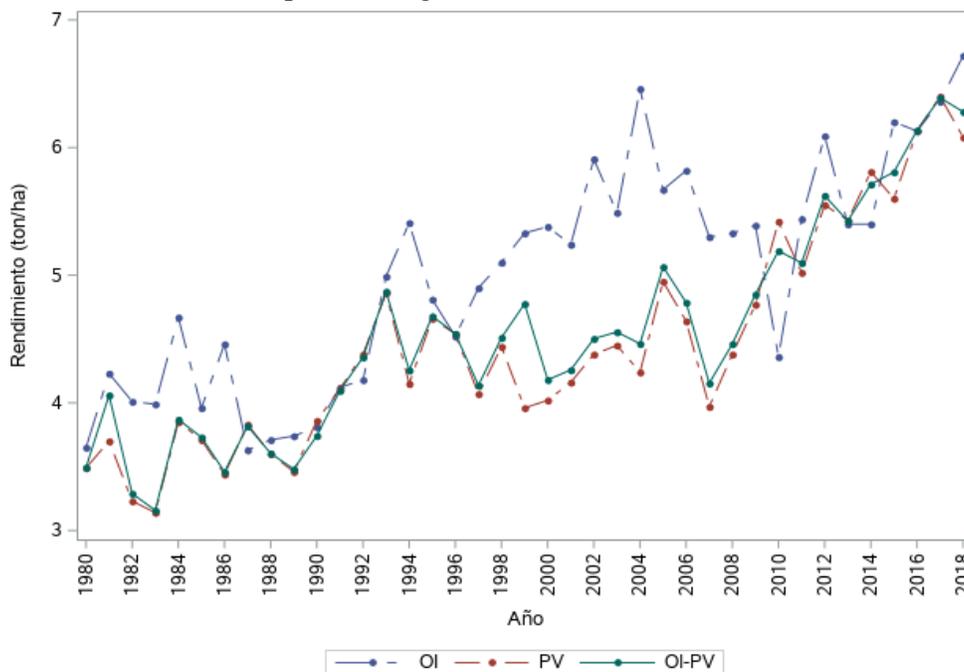
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

5.1.5 Rendimiento de arroz

El rendimiento de arroz es mayor en el ciclo OI y ha presentado una TCMA de 1.6 % pasando de 3.65 ton ha⁻¹ de 1980 a 6.72 ton ha⁻¹ en 2018, para el ciclo PV la TCMA fue de 1.5 % y en 1980 el rendimiento fue de 3.49 ton ha⁻¹ mientras que en 2018 el rendimiento fue de 6.08 ton ha⁻¹.

Hernández-Trujillo (2004) menciona que es posible que se estén quedando los productores en los que el cultivo de arroz han logrando obtener rendimientos competitivos por lo que las superficies cultivadas son cada vez menores. Esta situación puede estar ocurriendo en estados como Morelos, México y Michoacán. Mientras que en los estados de Campeche, Tabasco y Veracruz los rendimientos aunque son crecientes, son reducidos. Lo que indica que aún cuando los rendimientos han crecido existen factores como el clima y la calidad de la tierra, que no permiten mejorar la productividad, pero que al no existir el desarrollo de actividades productivas alternas los obliga a mantenerse en una actividad con bajos niveles de ganancia.

Figura 47 Rendimiento de arroz por ciclo agrícola, 1980 a 2018.



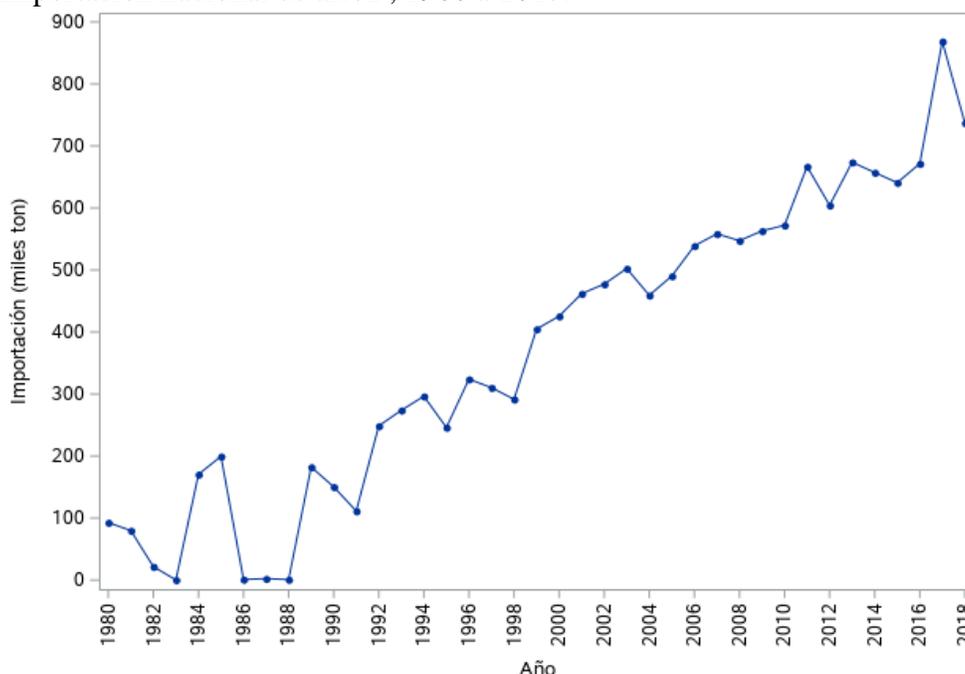
Fuente: Elaborada con datos de SIAP.

5.2. Situación Internacional de arroz

5.2.1 Importación nacional de arroz

Del periodo de 1980 a 2018 las importaciones nacionales de arroz (elaborado) presentaron una TCMA de 5.5 % (Figura 5.2.1). En 1980 se importaban 92.8 mil ton y para 2018 las importaciones fueron de 737.2 mil ton (FAO, 2019; SIAVI, 2019). México era autosuficiente en la producción de arroz hasta 1988 (con un coeficiente ≈ 1), teniendo actualmente una dependencia a las importaciones (SAGARPA, 2017). Salvador (2016) define el coeficiente de dependencia alimentaria como el grado en que la oferta de alimentos se suministra por medio de las importaciones y se calcula dividiendo las importaciones entre el CNA, si el índice es cercano o igual a uno refleja una total dependencia a las importaciones. Para 2018 el coeficiente de dependencia de arroz se calculó en 0.9.

Figura 48 Importación nacional de arroz , 1980 a 2017.

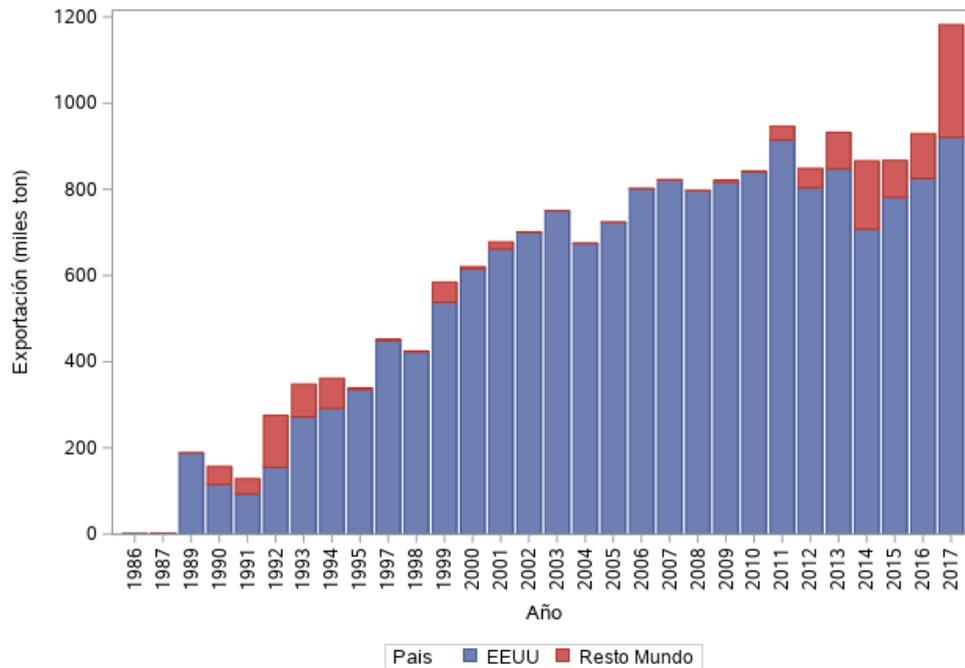


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAVI.

México importa arroz principalmente de Estados Unidos. En 1986, 1987 y 1989; así como de 1995 a 2013 y en 2015 mas del 90 % de las importaciones vinieron de EE.UU, estas importaciones han

presentado una TCMA de 21.8 %. Sin embargo, en 2017 las importaciones provenientes de EE.UU representaron un 77.9 % de las importaciones totales de México (figura 5.2.2).

Figura 49 Importación nacional de arroz por país socio comercial, 1980 a 2017.

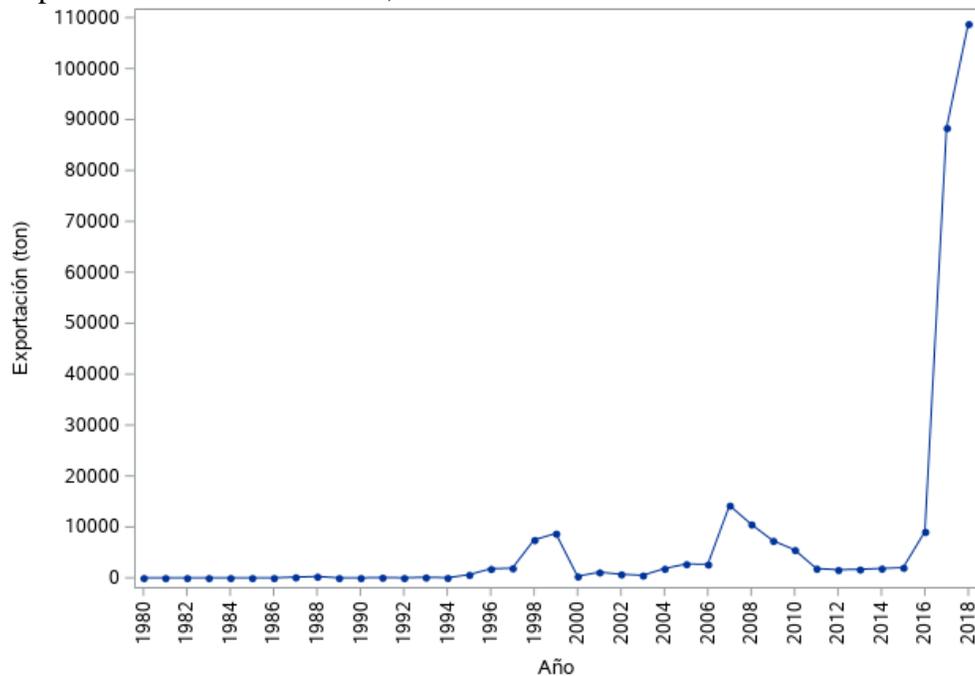


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT.

5.2.2 Exportación nacional de arroz

En el período observado las exportaciones de arroz (elaborado) comenzaron en 1987 con 150 ton; en 1989 y 1990 no se registraron exportaciones y a partir de 1991 (con 77 ton) fueron más constante. Durante 1991 y 2018 la exportaciones de arroz tuvieron una TCMA de 30.8 %. En la figura 5.2.3 se observa el comportamiento de las exportaciones de 1980 a 2016. Para 2016 las exportaciones fueron de 9.1 mil ton. En 2017 las exportaciones fueron de 88.6 mil ton, para 2018 las exportaciones fueron de 108 mil ton, la producción fue de 283.8 mil ton (177.1 mil ton de elaborado) y las importaciones fueron de 737.2 mil ton. De acuerdo con USDA-FAS (2019) México exportó arroz envasado molido como parte de una canasta de productos alimenticios en los últimos años.

Figura 50 Exportación nacional de arroz, 1980 a 2018.

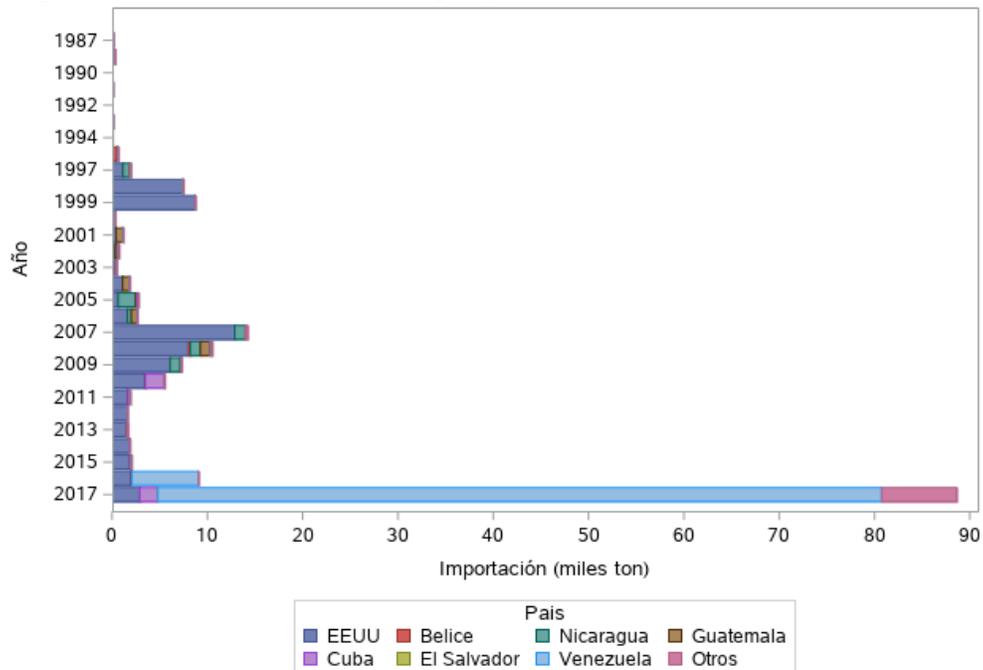


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAVI.

En los primeros periodos en los que se registran las exportaciones mexicanas de arroz, los principales países socios fueron Belice, Nicaragua, Guatemala y Cuba. Las exportaciones continuas hacia EE.UU. empezaron en 1995, la TCMA registrada en el periodo 1995 a 2017 fue de 12.7 %. Las exportaciones hechas a EE.UU. han presentado desde un 4.4 % (1995) hasta un 98.2 % (2012).

En 2016 y 2017 las exportaciones realizadas a EE.UU. fueron de 2.0 y 2.9 mil ton . Mientras que para los mismo años Venezuela importó 7.0 y 76.0 mil ton de arroz mexicano. (Figura 5.2.4). Las exportaciones de arroz molido a Venezuela provienen de las importaciones de arroz crudo de los EE.UU. que luego son molidas en México (USDA-FAS, 2019).

Figura 51 Exportaciones de arroz mexicano por país socio comercial, 1980-2017.

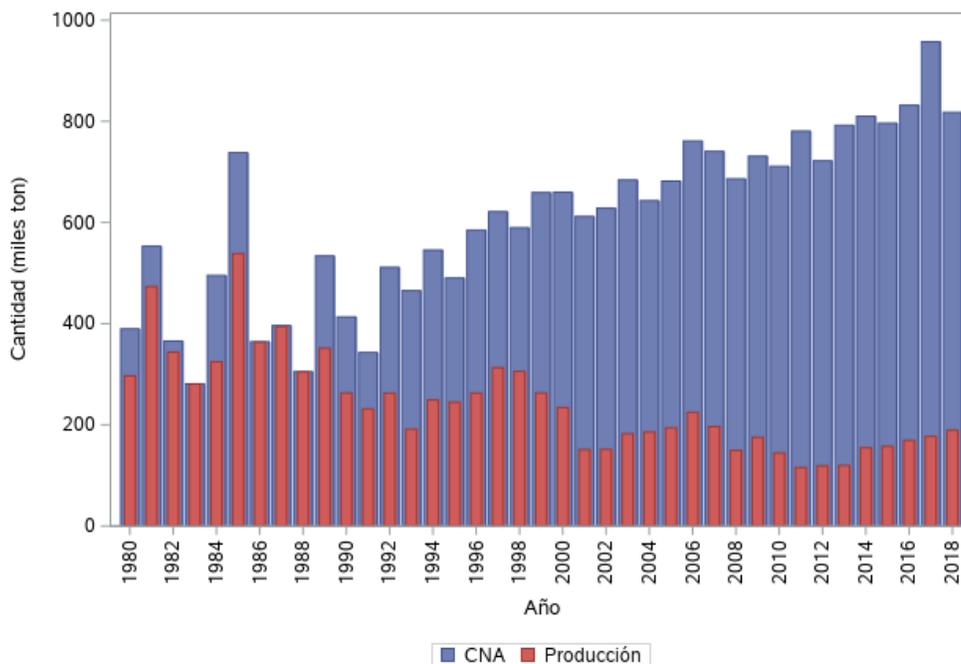


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT.

5.3. Consumo nacional de arroz

El consumo nacional de arroz fue calculado utilizando la suma de la producción y las importaciones menos las exportaciones. En México el consumo nacional ha presentado una TCMA de 1.9 %. En la figura 5.3.1 se puede observar el crecimiento en el consumo. Como se ha mencionado anteriormente hasta 1988, México era prácticamente autosuficiente en la producción de arroz, y es a partir de esta fecha donde las importaciones han tenido un crecimiento continuo.

Figura 52 Consumo nacional de arroz, 1980 a 2018.

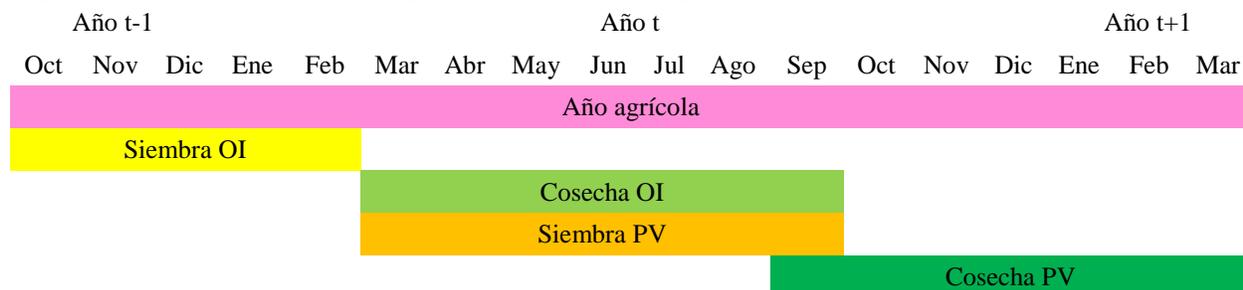


Fuente: Elaborada con datos de FAOSTAT y SIAP.

5.4. Calendario agrícola para arroz

Considerando el periodo analizado de 1980 a 2018, durante 35 años (1980-2014) más del 75 % de la producción se dio en el ciclo PV y de 2015 a 2018 la producción de PV ha tendido una disminución cercana al 60 %. En los últimos 5 años la superficie cultivada para este ciclo se dio bajo la modalidad temporal (32.0 %) y riego (68.0 %). Para el ciclo OI la mayor parte (con mas del 90 %) de la producción se registra en la modalidad riego.

Figura 53 Calendario Agrícola para cultivo de arroz por ciclo.



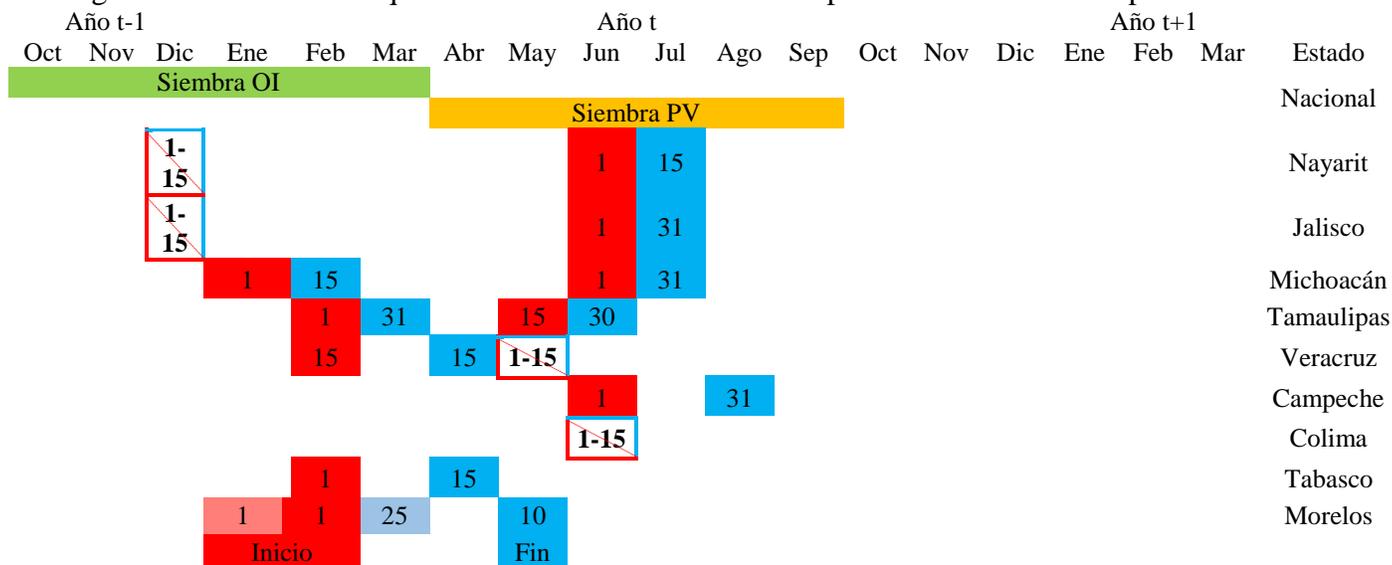
Fuente: Elaborada con datos del boletín de información oportuna del sector alimentario de INEGI.

En la figura 5.4.1 se puede ver que la siembra de arroz de PV se inicia entre los meses de marzo a septiembre para ser cosechada entre septiembre del año actual a marzo del año siguiente, mientras

que la siembra de arroz de OI se inicia en el mes de octubre de un año atrás a febrero del año actual para ser cosechado entre marzo y septiembre del año actual.

En la compilación de Hernández-Aragón *et al.* (2016) manejan que la época apropiada para la siembra de arroz debería realizarse como se muestra en la figura 5.4.2.

Figura 54. Fechas en las que se debería realizar la siembras para el cultivo de arroz por estado.



Fuente: Elaborada con datos de Hernández-Aragón *et al.* (2016).

5.5. Requerimiento de precipitación y temperatura para arroz

Dependiendo de la variedad el cultivo de arroz dura entre 120 a 175 días entre el establecimiento y la madurez del grano. El arroz evolucionó de una planta semiacuática por lo que requiere principalmente que el suelo en el que crece esté sumergido en agua y es extremadamente sensible a la escases de agua (Bounman B.A.M., 2012; SAGARPA, 2017)

El arroz de temporal requiere de 1000 a 4000 mm de agua anual con suelos húmedos e inundados, si se quiere tener buen rendimiento ocupa entre 200 a 300 mm de agua bien distribuido mensualmente (Ruiz-Corral *et al.*, 2013). Con base en el estudio “Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México” delimitan la precipitación de 1000 a 3500 mm de agua para la producción mexicana (Díaz *et al.*, 2012).

La temperatura requerida para la producción va de 18 a 40 °C (Ruiz-Corral, 2013). En el estudio de Díaz *et al.* (2012) delimitaron una temperatura óptima de entre 22 a 40 °C para México. La

temperatura mínima que requiere para emerger es de 10 a 13 °C y una óptima de entre 30 a 35 °C, para la floración requiere un mínimo de 15 °C y un óptimo de 30°C (SAGARPA, 2017).

El cultivo es susceptible a la poca disponibilidad de agua en el momento de la floración, generando grandes pérdidas de rendimiento, y a la combinación de altas temperaturas y fuertes viento. En una fase temprana de crecimiento vegetativo con una temperatura promedio menor a 12 °C durante el día y consecutivamente por tres días el cultivo muere (Bounman B.A.M., 2012).

CAPITULO VI. ANÁLISIS CLIMÁTICO

La producción agrícola es dependiente de los insumos ambientales que son básicos en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas como: el agua, la temperatura, la luz y el dióxido de carbono. (Ruíz-Corral, *et al.*, 2013). Las temperaturas (mínimas, máximas y óptimas) varían para cada cultivo ya sea en el desarrollo o en la supervivencia. La mayoría de los cultivos crecen mejor en un rango óptimo de temperaturas. Por ejemplo, para algunas plantas las altas temperaturas pueden causar pérdidas de agua perjudiciales y para algunas plantas las temperaturas mayores a 35 °C pueden ser letales para sus raíces (Uluka, 2008).

El agua es un insumo vital en la producción de cultivos, que permite la transpiración y la fotosíntesis y regula los estomas, siendo fundamental en el crecimiento y la expansión de las hojas de las plantas. Al igual que en la temperatura cada especie de planta tiene sus preferencias y tolerancias de agua. La modificación de las lluvias, ya sean tempranas o tardías, o sequías no estacionales afectan al cultivo. Por ejemplo, mucha lluvia puede ahogar el cultivo, retrasar la cosecha y acelerar la erosión del suelo y poca lluvia puede ser igual de peligroso (Uluka, 2008).

El agua y la temperatura son los componentes climáticos que cambian de manera más dinámica durante el ciclo de producción de los cultivos. Esta variabilidad es la responsable de la diversidad interanual en el rendimiento de los cultivos. A mayor temperatura se elevan las necesidades de agua de las plantas, acelerando el desarrollo de los cultivos y acortando los ciclos de producción, reduciendo el rendimiento y la demanda de agua (Ruíz-Corral, 2012). Las variaciones del clima en México, por ejemplo, fueron las frecuentes sequías que se presentaron en los noventas y la tendencia en el incremento de las lluvias en el noreste del país en la época invernal (Hernández y Valdez, 2004).

6.1 Temperatura

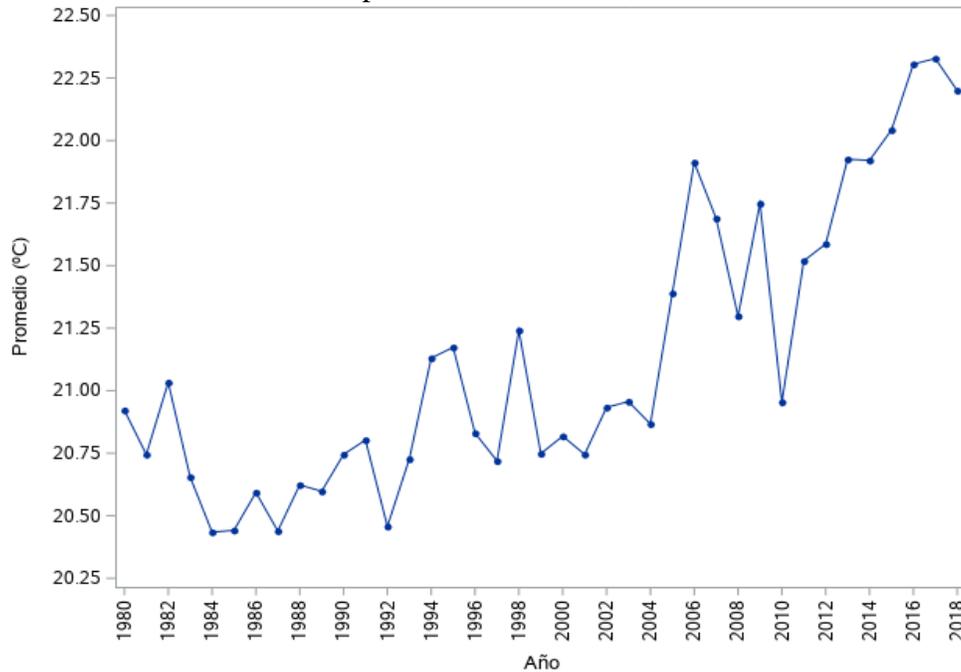
Desde la década de los años setenta, México se ha vuelto más cálido. La temperatura promedio a nivel nacional ha aumentado en 0.85 °C y la cantidad de días frescos se han reducido y han aumentado las noches más cálidas. Las temperaturas han aumentado de manera diferenciada por región, siendo el norte del país la zona con mayor incremento, de 0.25 a 0.50 por década, entre 1960 a 2010 (Semarnat, 2014).

6.1.1 Temperatura media

En México las temperaturas medias anuales son heterogéneas. En las zonas montañosas de Chihuahua y Sonora la temperatura media es menor a 10 °C, en las partes altas de la Sierra Madre occidental y oriental entre 10 y 18 °C. En el sur y sureste del país, las vertientes del golfo de México y el Pacífico se pueden señalar como las regiones más calurosas. Mientras que las zonas bajas del Sureste (Tabasco y Campeche) y en el norte del valle de Mexicali y parte de Baja California Sur presentan temperaturas muy elevadas (INECC-IMTA, 2014).

El promedio nacional de la temperatura media anual se puede observar con una tendencia creciente (figura 6.1.1) a partir de 1991 pasando de 20.8 °C a 22.3 °C en 2017. La temperatura media ha ido creciendo en los últimos 7 años, excepto en 2018 que se registró en 22.2 °C.

Figura 55 Promedio nacional de la temperatura media anual, 1980-2018.

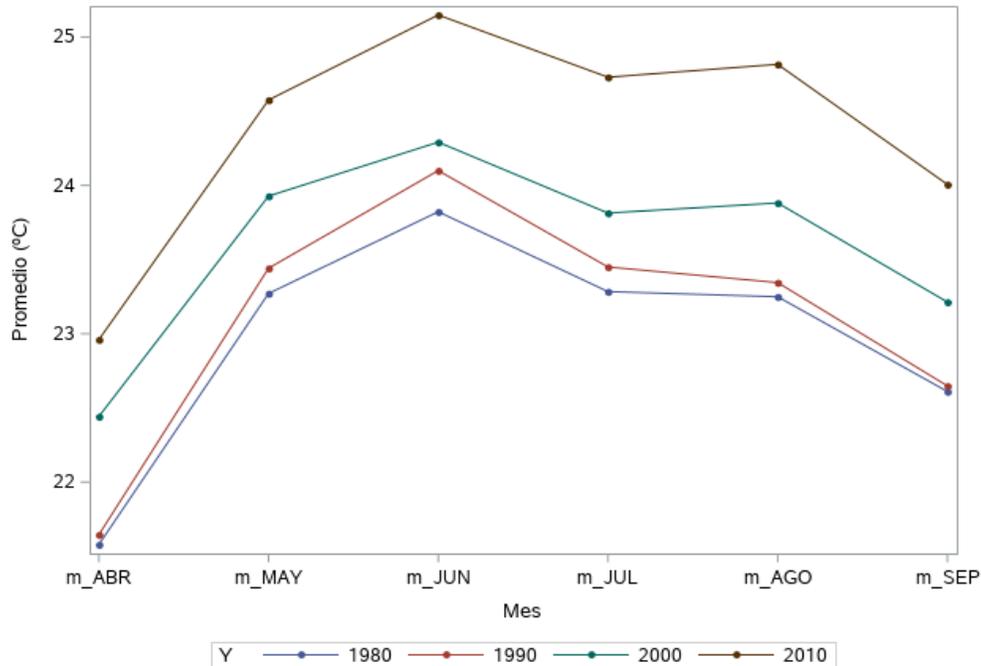


Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

En la figura 6.1.2 se observa el crecimiento decenal de la temperatura media nacional del mes de abril a septiembre dada la producción de PV. Se puede ver que entre los decenios de 1980 y 1990 las temperaturas mensuales son cercanas entre ellas, excepto para el mes de junio, estando en un rango por debajo de los 22 °C para el mes de abril a 24°C en el mes de junio. Sin embargo en los

últimos datos decenales la temperatura media nacional se ha incrementado, pasando de cerca de los 23 °C y 25 °C en el mes de abril y junio respectivamente.

Figura 56 Promedio decenal nacional de la temperatura media anual de abril a septiembre.

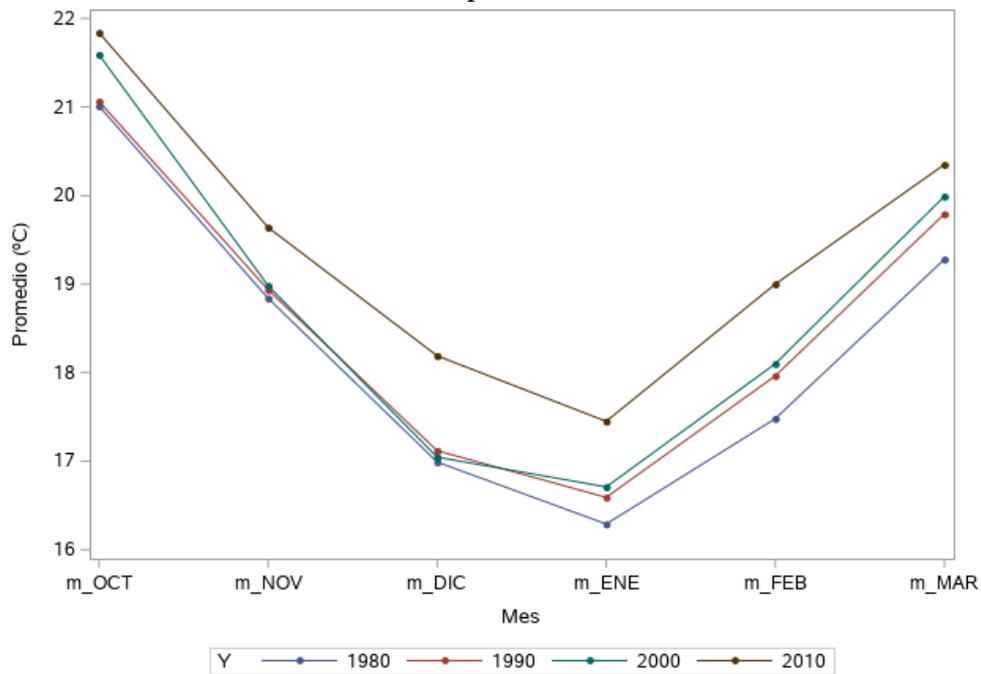


Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

En la figura 6.1.3 se observan los cambios en la temperatura media del periodo de octubre del año t-1 a marzo del año t, lo que corresponde al ciclo OI en la producción agrícola. Se puede observar que en los decenios de 1980 a 2000 las temperaturas fueron similares, pero de 2010 a 2018 se presentaron un incremento de las temperaturas entre diciembre y febrero.

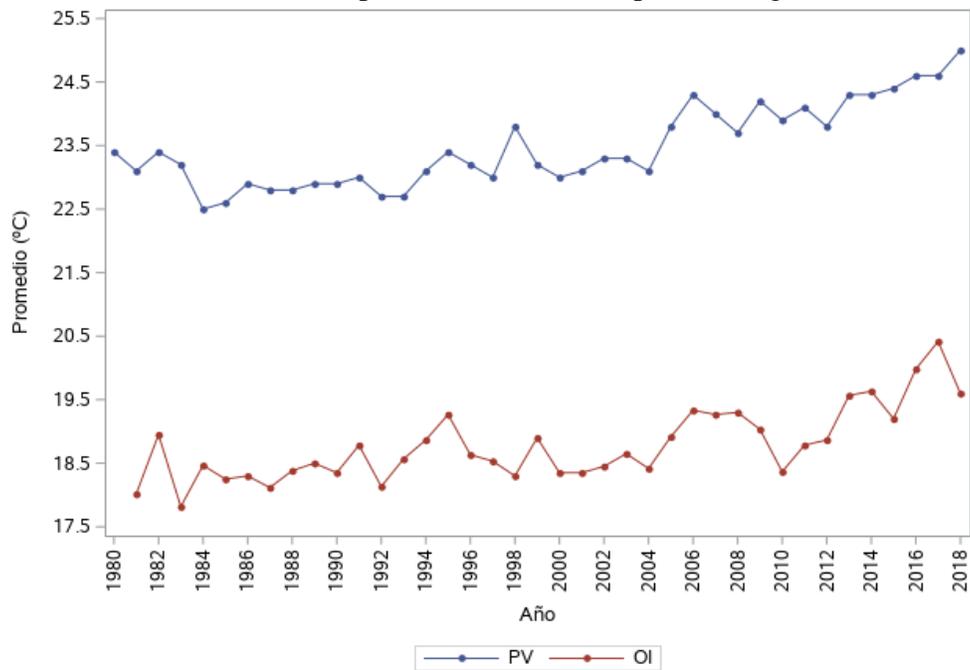
En la figura 6.1.4 se observa el crecimiento promedio en la temperatura media anual de los ciclos PV y OI. En el ciclo PV se observaba en un rango de entre los 23 y 24 °C, a mediados de los 2000 pasaron a los 24 °C. Para el ciclo OI la temperatura media oscilaba entre los 18 y 19 °C, sin embargo en los últimos años se ha observado por arriba de los 20 °C.

Figura 57 Promedio decenal nacional de la temperatura media anual de octubre a marzo.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

Figura 58 Promedio nacional de la temperatura media anual por ciclo agrícola, 1980-2018



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

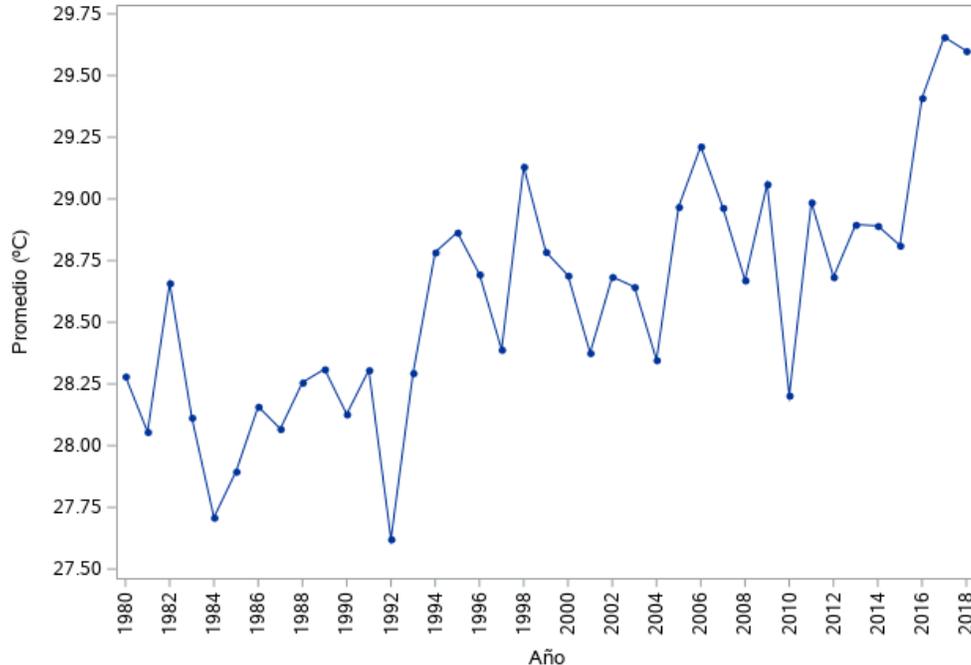
6.1.2 Temperatura máxima

La temperatura máxima deber ser considerada en los modelos agrícolas dada la susceptibilidad de los cultivos para cada fase de crecimiento y producción. A nivel nacional la temperatura máxima se concentró dentro del rango de los 27.5 °C (1984, 1985, 1992) y por arriba de los 29.5 °C registrado en los últimos años (Figura 6.2.1)

El promedio de temperatura máxima nacional de los datos decenales muestra que mayo es el mes mas caliente (figura 6.2.2). Entre los decenios de 1980 a 1990 y de 2000 a 2010 la temperatura máxima aumento aproximadamente en 1 °C. En el mes de junio se observó una disminución en el promedio de la temperatura máxima en los datos decenales de 2000 y en el mes de julio la temperatura promedio de 2010 a 2018 se ha incrementado poco comparado con los datos decenales de 2000.

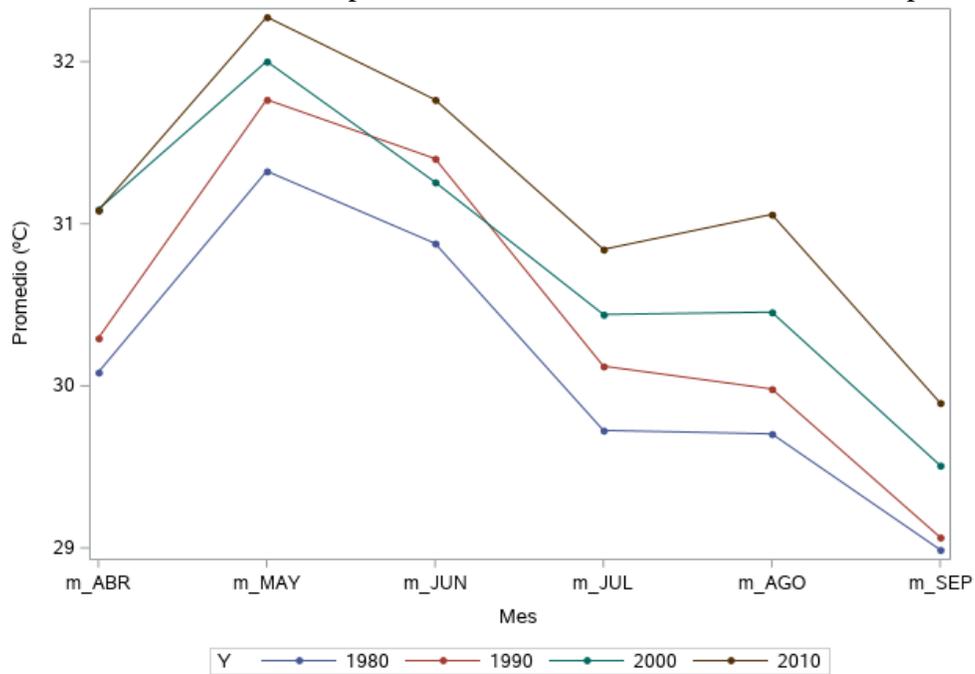
Los cambios decenales en la temperatura máxima de octubre a marzo tuvo un crecimiento de 1980 a 1990 de enero a marzo, sin embargo en los decenios de 1990, 2000 y 2010 las temperaturas máximas por mes se observan muy similares (figura 6.2.3).

Figura 59 Promedio nacional de la temperatura máxima anual, 1980-2018.



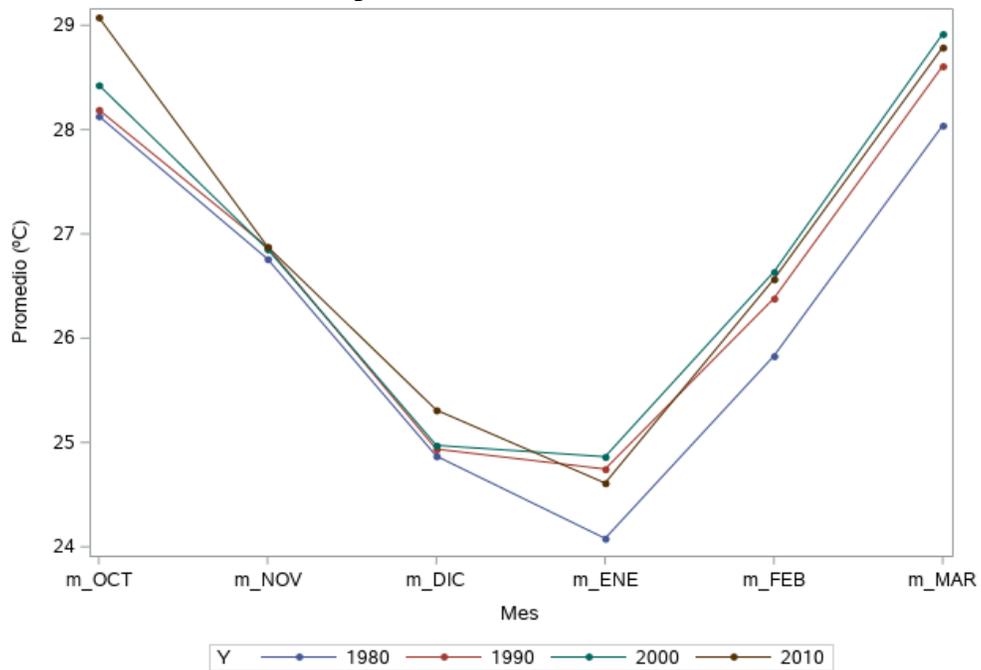
Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

Figura 60 Promedio decenal de la temperatura máxima anual del mes de abril a septiembre.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

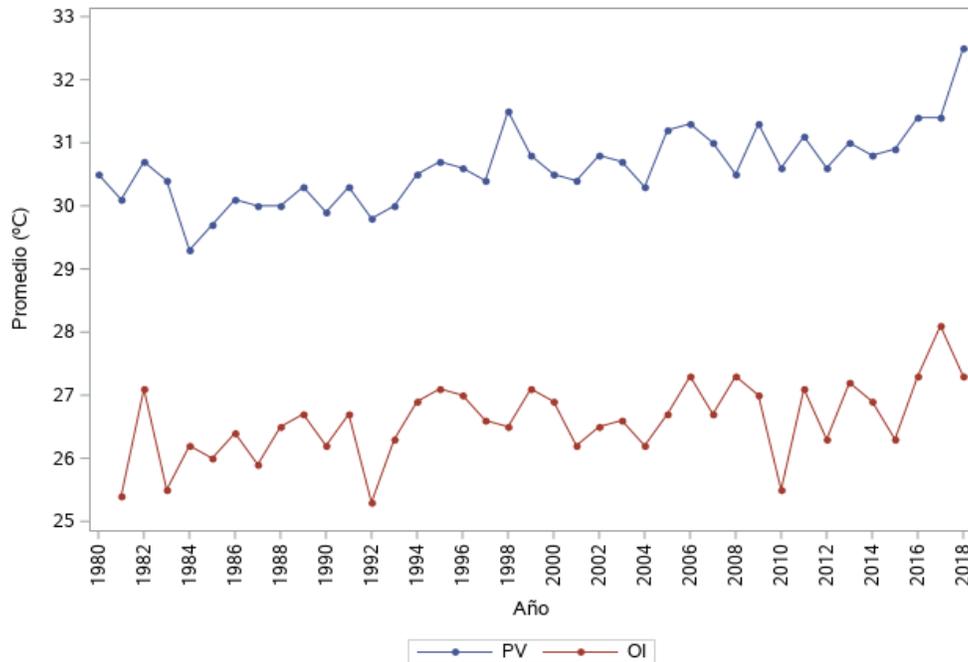
Figura 61 Promedio decenal de la temperatura máxima anual del mes de octubre a marzo.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

El crecimiento de las temperaturas máximas promedio por ciclo agrícola se observa en la figura 6.2.4. La temperatura máxima para PV entre 1980 y 1990 rondaba alrededor de los 30 °C y durante 1990 a 2018 se observa un crecimiento hacia los 32 °C. Para el ciclo OI el promedio de las temperaturas máximas se encontraba alrededor de los 26 °C, no obstante, en los dos últimos años ha estado cercano a los 28 °C.

Figura 62 Promedio nacional de la temperatura máxima anual por ciclo agrícola, 1980-2018.

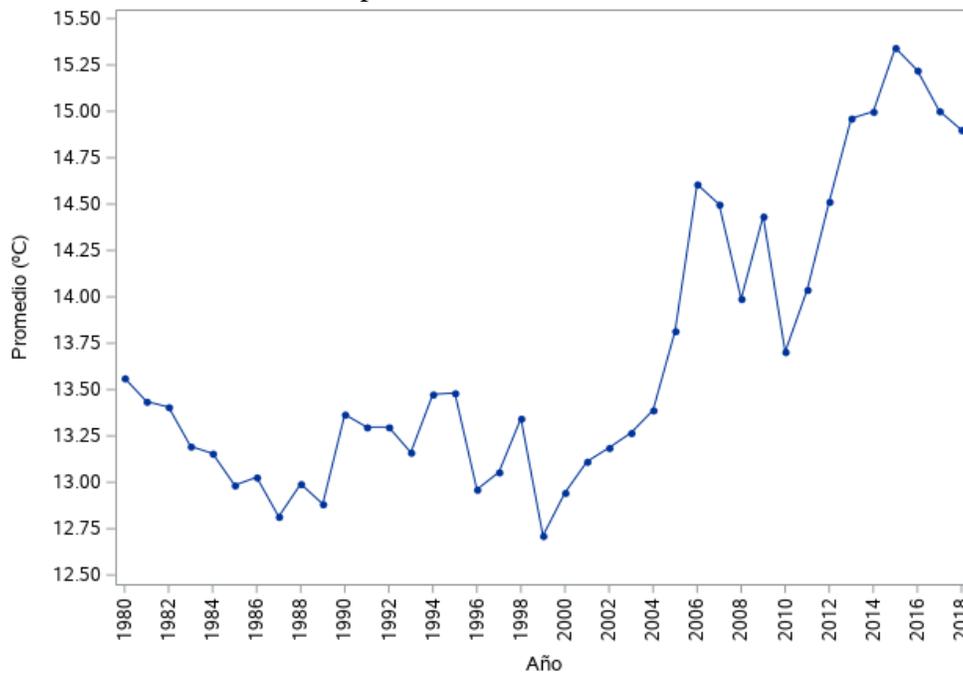


Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

6.1.3 Temperatura mínima

La temperatura promedio mínima nacional ha incrementado a partir del año 2000. Entre 1980 y 1999 el rango de temperatura mínima en México oscilaba alrededor de los 13 °C (mínimo 12.7 °C y máximo 13.5). De 1999 a 2017 la temperatura mínima incrementó de 12.7 °C a 15.3 °C, un incremento de 2 °C en 18 años (Figura 6.3.1).

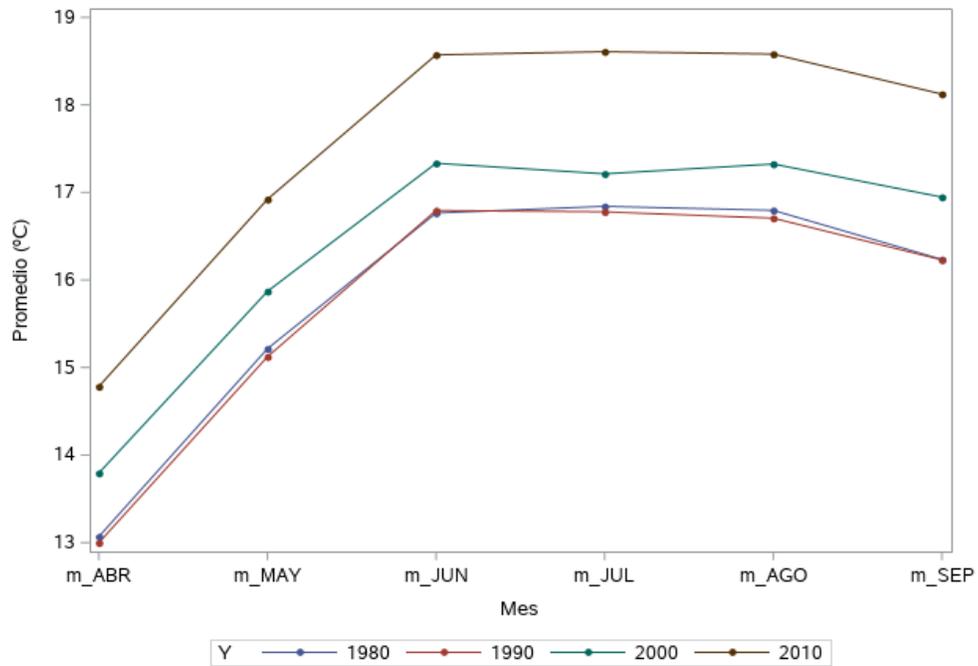
Figura 63 Promedio nacional de la temperatura mínima anual, 1980-2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

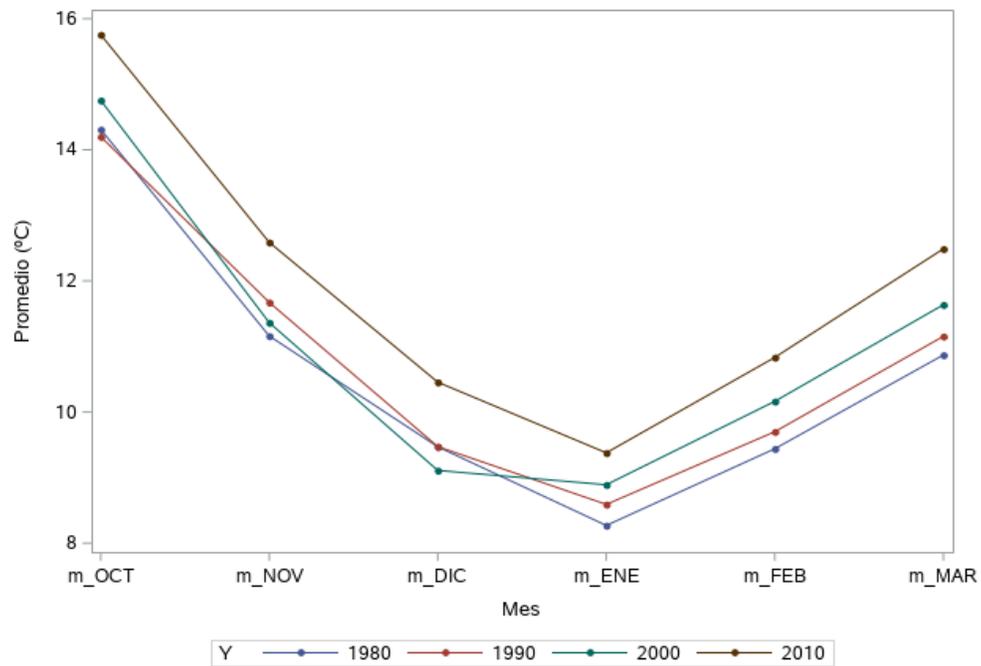
Como se observa (figura 6.3.2) en el promedio de las temperaturas mínimas decenales de los meses de abril a septiembre no hubo un incremento entre los decenios de 1980 y 1990. Para el decenio de 2000 y 2010 las temperaturas mínimas se han incrementado principalmente en el periodo 2010 a 2018. El promedio de la temperatura mínima nacional de los meses de octubre a marzo ha tenido un desplazamiento ligero de 1980 a 1990-2000, sin embargo en el decenio de 2010 el incremento es más notorio (figura 6.3.3).

Figura 64 Promedio decenal de la temperatura mínima anual del mes de abril a septiembre.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

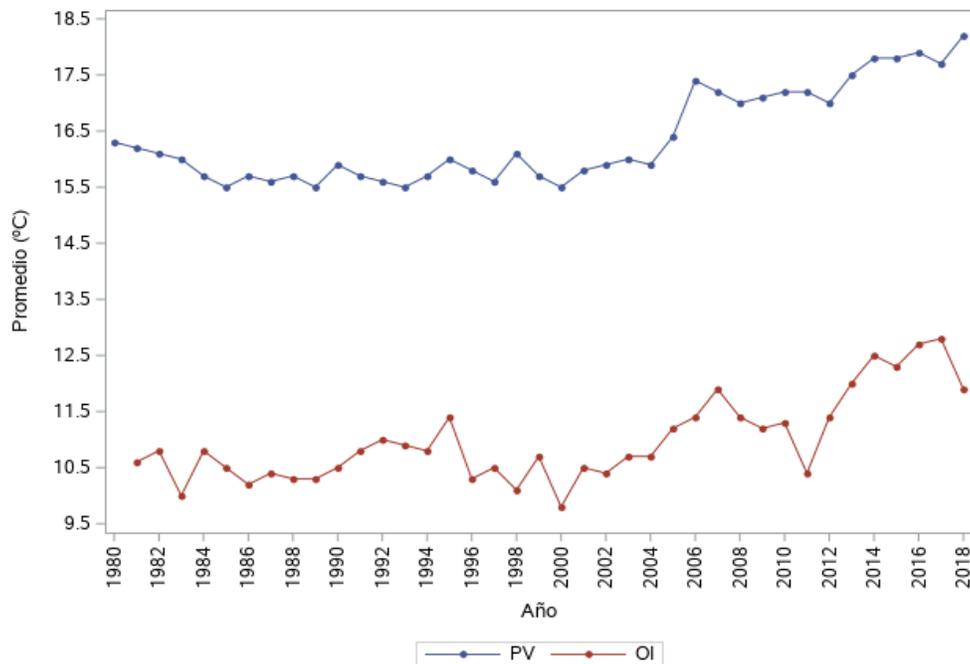
Figura 65 Promedio decenal de la temperatura mínima anual del mes de octubre a marzo.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

En el promedio de las temperaturas por ciclo se observa (figura 6.3.4) que tanto para PV y OI en los últimos años las temperaturas mínimas han crecido en casi 1.5 °C. La temperatura mínima de PV rondaba entre los 16 °C y se ha estado incrementando hasta llegar a casi los 18 °C. Para OI la temperatura mínima estaba entre los 11 °C y en los últimos años ha estado alrededor de los 13 °C.

Figura 66 Promedio nacional de la temperatura mínima anual por ciclo agrícola.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

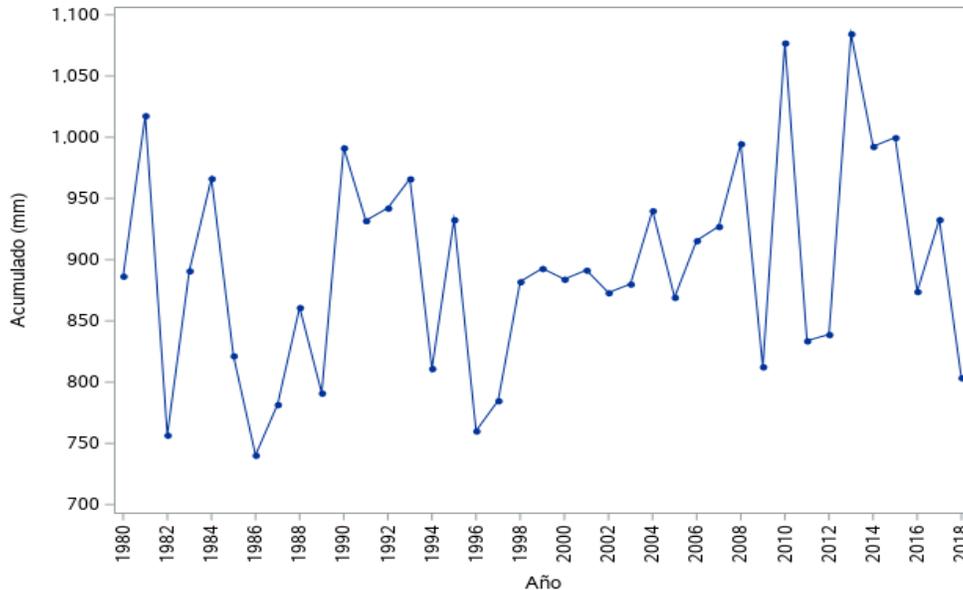
6.2. Precipitación

La distribución de las lluvias en México esta influenciada por las circulaciones globales y locales más los efectos orográficos del país (INECC-IMTA, 2014). En el país las lluvias se concentran en dos períodos, el primer período y más importante es de julio a octubre y el segundo de diciembre a enero (Salin, 2000). En la figura 6.4.1 se observa que la precipitación acumulada en México es irregular cada año. Sin embargo se observa que entre 1990 y 2000 el rango de la precipitación iba de los 700 a lo 1,000 mm (figura 6.4.1). A partir del 2000 la precipitación se desplazó de los 800 a casi los 1,100 mm.

La tendencia de la precipitación en México durante 1920 a 2004 muestra un incremento en regiones áridas y semiáridas, mientras que la disminución se hace más evidente en el centro y costas del

Golfo de México (Méndez-González, 2007), así como en el sureste del país la precipitación ha disminuido desde hace medio siglo (Semarnat, 2014).

Figura 67 Precipitación acumulada nacional, 1980-2018.

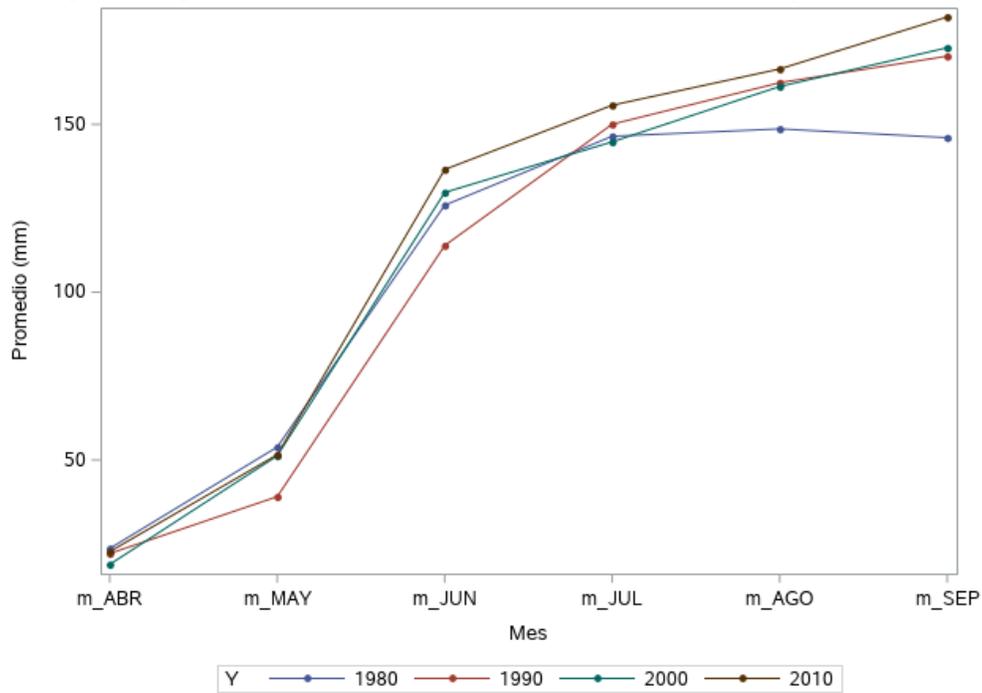


Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

En los datos decenales de los meses de PV (figura 6.4.2) se puede observar que el decenio con menor precipitación fue el de 1990, mientras que los decenios de 1980 y 2000 tuvieron precipitaciones similares en el mes de abril a julio. El mes de agosto y septiembre, los datos del decenio de 1980 fueron menores. Y el último periodo analizado (2010-2018) la precipitación fue mayor de junio a septiembre.

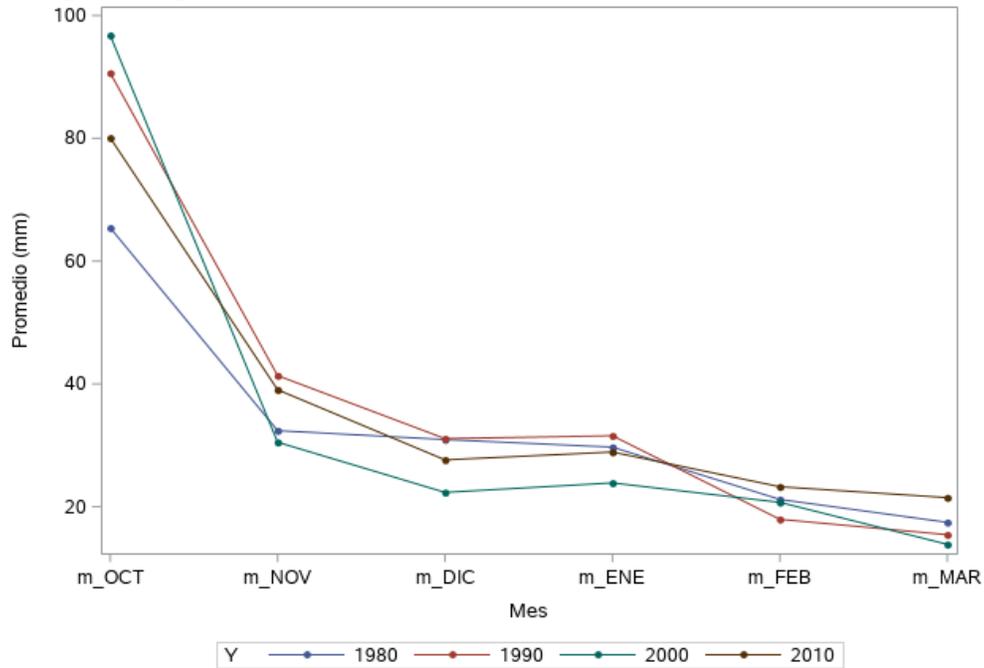
En la figura 6.4.3 se observa la precipitación promedio del ciclo OI por decenios. Para el mes de octubre el decenio de 2000 fue el que presentó mayor precipitación. En el mes de noviembre el decenio de 1990 fue el que presentó mayor precipitación. Los decenios de 1980 y 1990 en el mes de diciembre tuvieron precipitaciones muy similares. Para el mes de enero se observa que el decenio con mayor precipitación fue el de 1990, mientras que para el mes de febrero y marzo el decenio con mayor precipitación fue el de 2010. Entre el mes de noviembre a marzo el decenio de 2000 presentó menor precipitación y el decenio de 1990 presentó mayor precipitación.

Figura 68 Precipitación promedio nacional decenal del mes de abril a septiembre.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

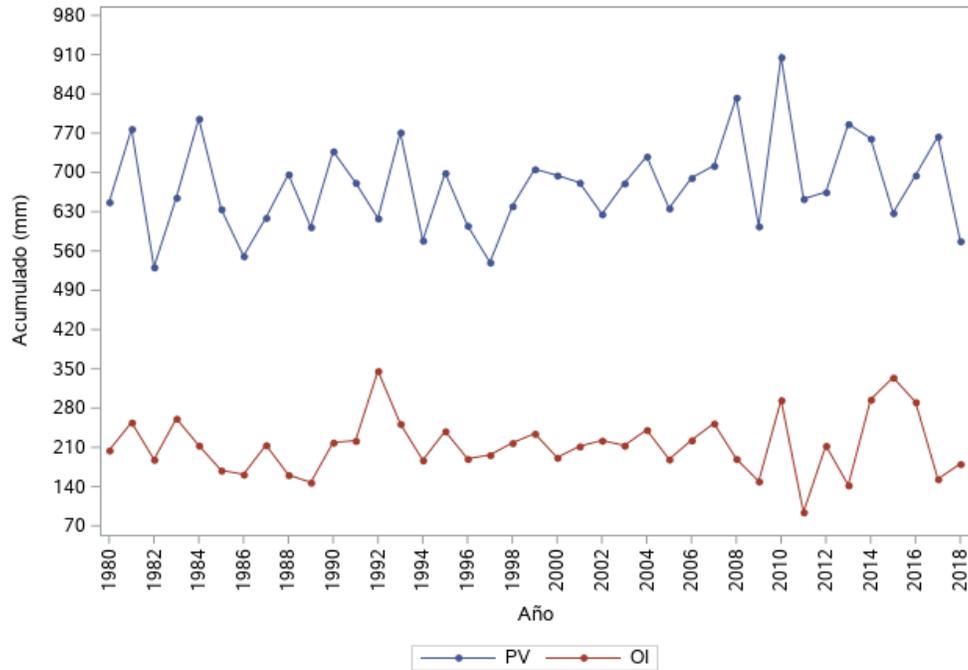
Figura 69 Precipitación promedio nacional decenal del mes de octubre a marzo.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

En la figura 6.4.4 se observa el promedio anual de las precipitaciones por ciclo agrícola, la precipitación para el ciclo PV presenta precipitaciones altas y bajas cada año. Para OI la precipitación no ha tenido grandes incrementos y decrementos como el ciclo PV.

Figura 70. Precipitación acumulada por ciclo agrícola.



Fuente: Elaboración propia con datos de SMN-CNA.

CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN DE ELASTICIDADES DEL RENDIMIENTO

7.1 Modelo de datos de panel

Los datos de panel permiten analizar modelos lineales que combinan series de tiempo con datos transversales (Das, 2019; SAS, 2014). El conjunto de datos de panel se forma con una serie temporal para cada unidad de sección transversal con información de temas semejantes (Das, 2019).

Los modelos econométricos realizados con datos de panel examinan la heterogeneidad no observada mediante la estimación de efectos específicos de sección transversal, de efectos de tiempo o la combinación de ambos efectos. (SAS, 2014; DAS, 2019; Capps, 2019)

Los modelos de datos de panel se pueden agrupar de acuerdo a la estructura del término de error:

1. En el modelo de efectos fijos, la heterogeneidad no observada varía a través de la dimensión de la sección transversal o en el periodo de tiempo de forma no estocástica (Das, 2019). Estos modelos examinan si las variables varían entre grupos o periodos de tiempo (Allison, 2011) y son absorbidas en el intercepto (Park, 2011). El mejor estimador lineal imparcial es mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO) (SAS, 2014)
2. En el modelo de efectos aleatorios, se considera la variación estocástica del carácter no observado en los datos a través de componentes de variación de error individuales o de tiempo (Paul, 2011; Das, 2019). El enfoque se realiza en dos etapas, en la primera se calculan los componentes de varianza, en la segunda etapa se utilizan los componentes para estandarizar los datos y se realiza la regresión por MCO (SAS, 2014).
3. En el modelo de componente de error unidireccional se captura un solo tipo de heterogeneidad no observada al incluir un conjunto de variables ficticias (Paul, 2011; Das, 2019), que depende de la sección transversal o de la serie de tiempo (SAS, 2014).
4. En el modelo de componente de error bidireccional se ocupa tanto de la heterogeneidad específica de la sección transversal como del tiempo específico al tomar dos conjuntos de variables ficticias (Paul, 2011; SAS, 2014; Das, 2019).

En la formulación de los modelos de datos de panel se incluyen las variables explicativas observadas y no observadas; por lo que, el panel puede usarse para analizar diferencias interindividuales y dinámicas intraindividuales mezclando componentes de series transversales y

series temporales. Los datos de panel pueden tener un efecto específico de sección transversal, un efecto específico de tiempo o una combinación de ambos efectos (DAS, 2019).

Das (2019) toma en cuenta tres dimensiones para organizar el panel: el número de unidades en sección transversal ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), el número de períodos de tiempo ($t = 1, 2, 3, \dots, T$) y el número de variables ($v = 1, 2, 3, \dots, k$). Para poder estimar un modelo econométrico mediante el uso de algún software con datos de panel se genera una matriz de datos bidimensionales con nT filas y k columnas.

En el cuadro 7.1.1 se observa que cada fila de la matriz forma los datos de la sección transversal. Por ejemplo los valores recolectados de X en la fila 1 ($X_{11}, X_{12}, \dots, X_{N1}$) de las entidades de la 1 a la N en el periodo 1, y de manera sucesiva para cada entrada en las distintas filas.

Cuadro 7.1.1. Diseño de matriz para base de datos.

Unidad de tiempo (t)	Unidad de sección transversal (i)					$\tilde{X}_{.t}$
	1	2	3	...	N	
1	X_{11}	X_{21}	X_{31}	...	X_{N1}	$\tilde{X}_{.1}$
2	X_{12}	X_{22}	X_{32}	...	X_{N2}	$\tilde{X}_{.2}$
3	X_{13}	X_{23}	X_{33}	...	X_{N3}	$\tilde{X}_{.3}$
...						
T	X_{1T}	X_{2T}	X_{3T}	...	X_{NT}	$\tilde{X}_{.T}$
$\tilde{X}_{.i}$	$\tilde{X}_{1.}$	$\tilde{X}_{2.}$	$\tilde{X}_{3.}$...	$\tilde{X}_{N.}$	\tilde{X}

Fuente: Das (2019).

Los datos de panel pueden clasificarse en panel balanceado y no balanceado. En un panel balanceado no habrá ningún valor faltante en el conjunto de datos, es decir, todas las entidades tienen mediciones en todos los períodos de tiempo y el número total de observaciones es nT . En un panel no balanceado la información de algunas unidades de sección transversal no están disponibles para todo el periodo de tiempo y el número total de observaciones es $\neq nT$, por lo que, el número de mediciones (T_i) varía entre las unidades de sección transversal (Park, 2011; Das, 2019).

Los datos de panel también pueden clasificarse, en micro-panel y macro-panel, dependiendo de las unidades de sección transversal. En el micro-panel (panel corto o panel de sección transversal) el número de unidades de sección transversal es mucho mayor que el período de tiempo ($n > T$). En el macro-panel (panel largo o panel de serie de tiempo) el número de unidades de sección transversal es mucho menor que el periodo de tiempo ($n < T$) (Park, 2011; Das, 2019).

SAS (2014) y Liu *et al.* (2020) denotan la notación habitual del panel. En SAS (2014) la especificación del termino error (U_{it}) varía dependiendo del modelo.

$$Y_{it} = \sum_{k=1}^K X_{itk}\beta_k + U_{it}$$

Donde:

Y_{it} = sujeto i en el tiempo t

X_{itk} = vector de k observaciones de las variables explicativas

β_k = vector de parámetros k

U_{it} = termino error

$$i = (1, 2, \dots, N) \text{ y } t = (1, 2, \dots, T_i)$$

El termino error (U_{it}) para cualquier modelo se descompone en una parte no aleatoria y una parte puramente aleatoria (ε_{it}) (SAS, 2014) en el cuadro 7.1.2 se muestra la descomposición del error por tipo de modelo a estimar. .

Cuadro 7.1.2. Tipo de error de acuerdo al modelo a estimar.

Modelo	Efecto fijo unidireccional	Efecto fijo bidireccional	Efecto aleatorio unidireccional	Efecto aleatorio bidireccional
Error	$U_{it} = \gamma_i + \varepsilon_{it}$	$U_{it} = \gamma_i + \alpha_t + \varepsilon_{it}$	$U_{it} = v_i + \varepsilon_{it}$	$U_{it} = v_i + e_t + \varepsilon_{it}$

γ_i s y α_t s son parámetros no aleatorios para estimar relacionado con el componente de la sección transversal y el componente de serie de tiempo, respectivamente.
 v_i s y e_t s son parámetros aleatorios para estimar relacionado con el componente de la sección transversal y el componente de serie de tiempo, respectivamente.

Fuente: SAS (2014)

Paul (2011) sugiere la selección del modelo dependiendo del termino error. Si se supone que el componente de error y las X s no están correlacionados el modelo de efectos aleatorios puede ser el adecuado y si están correlacionados el modelo de efecto fijo puede ser el adecuado. La selección de entre los modelos puede elegirse:

1. Si la cantidad de datos de series de tiempo es grande y la cantidad de unidades de sección transversal es pequeña ($T > n$) es probable que haya poca diferencia en los valores de los parámetros estimados por efectos aleatorios y efectos fijos. La elección se basa en la conveniencia computacional y puede ser preferible el uso del modelo de efecto fijo.

2. Si la cantidad de unidades de sección transversal es grande y los datos de serie de tiempo es pequeña ($n > T$), las estimaciones obtenidas por los dos métodos pueden diferir significativamente.
3. Si el componente de error individual ε_i y uno o más regresores están correlacionados, entonces los estimadores del modelo de efecto fijo están sesgados y los obtenidos por el modelo de efectos aleatorios son insesgados.
4. Si la cantidad de unidades de sección transversal es grande y los datos de serie de tiempo es pequeña ($n > T$), y si las suposiciones básicas de efectos fijos se mantienen, el modelo de efectos fijos es más eficiente que los estimadores de efectos aleatorios.

Ajmani (2009) y Das (2019) mencionan dos ventajas principales del uso de datos de panel. La primera es el tamaño de muestra aumentada; si hay n unidades de sección transversal y T periodos de tiempo, entonces el número total de observaciones será nT ; por lo que, los grados de libertad proporcionan más variabilidad que en los datos de sección transversal o de series de tiempo y generan estimaciones más eficientes. La segunda es la capacidad de control de la heterogeneidad no observada entre las unidades de sección transversal individuales. Entonces los datos de panel son útiles para construir y probar hipótesis de comportamiento más complicadas.

7.2 Estimación del modelo de datos de panel para maíz

7.2.1 Estimación del modelo de datos de panel para maíz de primavera-verano

Para la estimación del modelo de rendimiento para maíz de primavera-verano se utilizó una serie de tiempo de 39 años (1980-2018). La producción de maíz para este ciclo cuenta con un registro de 32 estados productores, sin embargo algunos estados no tuvieron producción en todos los años analizados. Para evitar problemas de panel desbalanceados se tomó una muestra de $n=25$ estados que tuvieran el registro del rendimiento en los 39 años (Anexo A).

Se realizaron modelos de rendimiento de maíz. Primero se utilizaron las temperaturas medias (T_{med}) y las precipitaciones (P_{plv}) como variables independientes y posteriormente se utilizaron las temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones como variables explicatorias. Sin embargo, como se observa en el capítulo VI en las figuras 6.2.4 y 6.3.4 las temperaturas máximas y mínimas se están incrementando, por lo que la temperatura media tiene mayor significancia en el modelo.

$$\text{Modelo } Ren_{MPV} = \beta_0 + \beta_1 Tmed + \beta_2 Pplv + U_{it} \quad \dots(7.2)$$

Se realizaron 3 modelos, el primer modelo es el modelo de datos agrupados (pooled), el segundo es un modelo de efecto fijo unidireccional y el tercero es el modelo de efecto aleatorio unidireccional.

Cuadro 7.3. Estadísticos por tipo de modelo para rendimiento de maíz de PV.

Estadístico	Modelo 1 Agrupado (Pooled)	Modelo 2 Efecto fijo unidireccional	Modelo 3 Efecto aleatorio unidireccional
Número de secciones cruzadas	25	25	25
Longitud de las series temporales	39	39	39
Grados de libertad (GL)	972	948	972
ECM	1.1832	0.566	0.5869
Raíz ECM	1.0877	0.7523	0.7661
R-cuadrado	0.0135	0.5397	0.0834
Prueba de Hausman (Pr>F)		<.0001	<.0001
Prueba de Breusch-Pagan (Pr>m)	<.0001	<.0001	<.0001
Componente de varianza para secciones cruzadas			0.68826
Componente de varianza para error			0.56602

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

En el cuadro 7.3 se observan los principales estadísticos por tipo de modelo. Para los tres modelos al realizar la prueba de Breusch-Pagan en un nivel de 0.05 se rechaza la hipótesis nula de ausencia de efectos aleatorios. En el modelo 2 y 3 la prueba de Hausman rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 de no correlación en los componentes de varianza con el conjunto de variables explicatorias por lo que puede existir efectos fijos.

Paul (2011) menciona que si se presenta una serie de tiempo grande y una de sección transversal pequeña es posible que haya poca diferencia entre los valores de los parámetros a estimar para efectos fijos y efectos aleatorios y puede ser preferible usar efectos fijos. Baltagi (2008), Ajmani (2009) y Liu *et al.* (2020) mencionan que el modelo de efectos fijos es apropiado si se suponen que los sujetos seleccionados representan a toda la población y si los sujetos son seleccionados de una población más grande y el efecto individual se caracteriza como aleatorio y la inferencia pertenece a la población de la que se extrajo la muestra al azar y debería utilizarse un modelo de efectos aleatorio.

Cuadro 7.4. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de maíz de PV.

Variable		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
		Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Intercepto	Estimación	2.74334***	-4.20031***	-2.81512***
	Error estándar	0.22217	0.52363	0.56403
Tmed	Estimación	-0.0271***	0.26279***	0.18735***
	Error estándar	0.00944	0.02539	0.02265
Pplv	Estimación	-0.00018*	0.00072***	0.00061***
	Error estándar	0.00011	0.00014	0.00014

Valor-p *** <.0001, **<0.05, *<0.1

Fuente: Realizado con la salida de SAS

En el cuadro 7.4 se observan las estimaciones para cada tipo de modelo. El modelo seleccionado fue el modelo 3. Los coeficientes estimados de las variables Tmed y Pplv son significativas en el nivel <0.0001. El modelo estimado:

$$Ren_{MPV} = -2.815 + 0.187 Tmed + 0.0006Pplv \quad \dots(7.2.1)$$

SAGARPA-FAO (2012) realizaron funciones de producción para maíz en 8 regiones y obtuvieron signos positivos en las estimaciones de 6 regiones en los coeficientes de temperatura media y precipitación y 2 regiones con coeficiente negativo en temperatura media y positivo para precipitación.

7.2.2 Estimación del modelo de datos de panel para maíz de otoño-invierno

En el modelo de rendimiento para maíz OI se utilizó la serie de tiempo de 39 años (1980-2018). Se obtuvo un registro de 27 estados para producción en este ciclo. Al igual que en el modelo de panel para maíz de PV, en OI se tomó una muestra de n=21 estados que no tuvieran años perdidos (Anexo A). Se analizaron modelos con Tmed y Pplv, y con Tmax, Tmin y Pplv como variables independientes. Sin embargo, solo se dejaron los modelos con temperatura media.

Cuadro 7.5. Estadísticos por tipo de modelo para rendimiento de maíz de OI.

Estadístico	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Secciones cruzadas	21	21	21
Longitud de las series temporales	39	39	39
Grados de libertad (GL)	816	796	816
ECM	3.1503	1.1697	1.2099
Raíz ECM	1.7749	1.0815	1.1
R-cuadrado	0.1917	0.7072	0.0992
Prueba de Hausman (Pr>F)		<.0001	0.0982
Prueba de Breusch-Pagan (Pr>m)	<.0001	<.0001	<.0001
Componente de varianza para secciones cruzadas			2.25822
Componente de varianza para error			1.16972

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

También se obtuvieron 3 modelos, el modelo de datos agrupados, el modelo de efecto fijo unidireccional y el modelo de efecto aleatorio unidireccional. En el cuadro 7.5 se observan los estadísticos para cada modelo. En los modelos de datos agrupados y de efectos fijos al realizar la prueba de Breusch-Pagan en un nivel de 0.05 se rechaza la hipótesis nula de ausencia de efectos aleatorios. En el modelo 3 la prueba de Hausman no rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 por lo que puede existir efectos aleatorios.

Cuadro 7.6. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de maíz de OI.

Variable		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
		Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Interceptó	Estimación	3.0291***	-8.2937**	-4.45217***
	Error estándar	0.3841	1.09792	0.91098
Tmed	Estimación	0.05678**	0.47511***	0.379628***
	Error estándar	0.0197	0.04425	0.04093
Pplv	Estimación	-0.00408***	-0.00027	-0.00065*
	Error estándar	0.00030	0.00036	0.00035

Valor-p *** <.0001, **<0.05, *<0.1

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

En el cuadro 7.6 se observan las estimaciones por tipo de modelo. En el modelo de efecto aleatorio unidireccional el coeficiente estimado de la temperatura media es significativo en un nivel <0.0001 y el coeficiente estimado de la precipitación acumulada es significativo en un nivel <0.1. El modelo estimado sería:

$$Ren_{MOI} = -4.4521 + 0.3796 T_{med} - 0.00065 P_{pLv} \quad \dots(7.2.2)$$

7.3 Estimación del modelo de datos de panel para frijol

7.3.1 Estimación del modelo de datos de panel para frijol de primavera-verano

En el periodo estudiado la producción de frijol para PV se distribuyó en 32 estados y al igual que en las estimaciones de maíz se tomó una muestra de n=21 estados (Anexo A) y para evitar problemas de panel desbalanceados se tomaron los estados que tuvieran el registro completo del rendimiento en los 39 años estudiados.

Al igual que en maíz se realizaron modelos con Tmax, Tmin, Tmed y Pplv. Sin embargo se eligieron los modelo que contenían la temperatura media y precipitación acumulada.

En la cuadro 7.7 se registra los principales estadísticos por tipo de modelo. Al realizar la prueba de Breusch-Pagan en un nivel de 0.05 se rechaza la hipótesis nula de ausencia de efectos aleatorios en los tres modelos por lo que puede existir efectos aleatorios. En el modelo de efectos aleatorios la prueba de Hausman no rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 y puede existir efectos aleatorios.

Cuadro 7.7. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de PV.

Estadístico	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Secciones cruzadas	20	20	20
Longitud de las series temporales	39	39	39
Grados de libertad (GL)	777	758	777
ECM	0.0811	0.0371	0.0372
Raíz ECM	0.2848	0.1926	0.1929
R-cuadrado	0.0793	0.5891	0.0311
Prueba de Hausman (Pr>F)		<.0001	0.068
Prueba de Breusch-Pagan (Pr>m)	<.0001	<.0001	<.0001
Componente de varianza para secciones cruzadas			0.050761
Componente de varianza para error			0.037089

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

En el cuadro 7.8 se registran las estimaciones por tipo de modelo. En el modelo de efecto aleatorio unidireccional el coeficiente estimado de la temperatura media es significativo en un nivel <0.0001 y el coeficiente estimado de la precipitación acumulada es significativo en un nivel <0.05.

Cuadro 7.8. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de PV

Variable		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
		Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Interceptó	Estimación	0.37627***	-0.23231	-0.07267
	Error estándar	0.07272	0.16274	0.17162
Tmed	Estimación	0.01941***	0.03554***	0.03185***
	Error estándar	0.00306	0.00785	0.00704
Pplv	Estimación	-0.00015***	0.00011**	0.00009**
	Error estándar	0.00003	0.00004	0.00004

Valor-p *** <.0001, **<0.05, *<0.1

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

El modelo estimado sería:

$$Ren_{FPV} = -0.07267 + 0.03185 Tmed + 0.00009 Pplv \quad \dots(7.3.1)$$

SAGARPA-FAO (2012) realizaron funciones de producción para frijol de ciclo PV en 5 regiones y obtuvieron signos positivos en las estimaciones de 6 regiones en los coeficientes de temperatura media y precipitación.

7.3.2 Estimación del modelo de datos de panel para frijol de otoño-invierno

Para estimar el modelo de frijol de ciclo OI se tuvo un registro de 28 estados durante los 39 años analizados. Para evitar problemas de datos desbalanceados se obtuvo una muestra de n=13 estados que contaran con los 39 registros de serie de tiempo (Anexo A). Se considero modelos utilizando las variables Tmax, Tmin y Pplv y Tmed y Pplv. Los modelos seleccionados fueron con el de las variables de Tmed y de Pplv.

En el cuadro 7.9 se reportan los principales estadísticos de los tres modelos. La prueba de Breusch-Pagan para los tres modelos en un nivel de 0.05 rechaza la hipótesis y pueden existir efectos aleatorios. La prueba de Hausman rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 y pueden existir efectos fijos.

Cuadro 7.9. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de OI

Estadístico	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Secciones cruzadas	13	13	13
Longitud de las series temporales	39	39	39
Grados de libertad (GL)	504	492	504
ECM	0.144	0.0498	0.0504
Raíz ECM	0.3795	0.2232	0.2245
R-cuadrado	0.2608	0.7503	0.0107
Prueba de Hausman (Pr>F)		<.0001	<.0001
Prueba de Breusch-Pagan (Pr>m)	<.0001	<.0001	<.0001
Componente de varianza para secciones cruzadas			0.11594
Componente de varianza para error			0.04984

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

Cuadro 7.10. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de frijol de OI

Variable		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
		Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Interceptó	Estimación	1.55388***	0.00855	0.56207**
	Error estándar	0.12111	0.27151	0.23921
Tmed	Estimación	-0.01631***	0.02817**	0.02034*
	Error estándar	0.00614	0.01095	0.01044
Pplv	Estimación	-0.00126***	-0.00008	-0.00014
	Error estándar	0.00012	0.00011	0.00011

Valor-p *** <.0001, **<0.05, *<0.1

Fuente: Realizado con la salida de SAS .

En el cuadro 7.10 se tienen las estimaciones de los tres modelos. El modelo seleccionado fue el de efecto aleatorio y como lo describe Baltagi (2008) al tener una muestra aleatoria pueden existir efectos aleatorios . El coeficientes estimados de la variable Tmed es significativo en el nivel <0.1, el coeficiente para la Pplv dio como no significativo y esto puede deberse a que el 47.3 % de la superficie sembrada corresponde a temporal y 52.7 % a riego. El modelo se escribe:

$$Ren_{FOI} = 0.5621 + 0.203 Tmed - 0.00014 \quad \dots(7.3.3)$$

Para frijol de ciclo de otoño- invierno SAGARPA-FAO (2012) realizaron funciones de producción para 2 regiones y obtuvieron signos positivos en temperatura media y precipitación. Los estados comprendidos en estas regiones fueron Tamaulipas y Nuevo León; y Colima, Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Nayarit y Jalisco. Mientras que en el análisis con datos de panel los estados

fueron Baja California Sur, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Yucatán.

7.4 Estimación del modelo de datos de panel para arroz

7.4.1 Estimación del modelo de datos de panel para arroz de primavera-verano

Durante 1980 a 2018 se tiene un registro de 17 estados con producción de arroz en PV pero algunos estados no tuvieron producción en todos los años. Se tomó una muestra de $n=10$ estados que tuviera la serie de tiempo (39 años) completa (Anexo A).

En el cuadro 7.11 se muestran los estadísticos principales de cada modelo. Al realizar la prueba de Breusch-Pagan en un nivel de 0.05 se rechaza la hipótesis nula de ausencia de efectos aleatorios en los tres modelos. Al realizar la prueba de Hausman en el modelo 2 y 3 se rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 por lo que puede existir efectos fijos. Sin embargo, como Baltagi (2008), Ajmani (2009) y Liu *et al.* (2020) al ser una muestra aleatoria el uso del modelo de efectos aleatorios es oportuno.

Cuadro 7.11. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de PV

Estadístico	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Secciones cruzadas	10	10	10
Longitud de las series temporales	39	39	39
Grados de Libertad (GL)	387	378	387
ECM	3.1602	1.1865	1.2314
Raíz ECM	1.7777	1.0892	1.1097
R-cuadrado	0.3192	0.7503	0.0422
Prueba de Hausman (Pr>F)		<.0001	<.0001
Prueba de Breusch-Pagan (Pr>m)	<.0001	<.0001	<.0001
Componente de varianza para secciones cruzadas			2.55878
Componente de varianza para error			1.18646

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

En el cuadro 7.12 se reportan las estimaciones de cada modelo. En el modelo seleccionado los coeficientes estimados de temperatura media y de precipitación acumulada son significantes en un nivel <0.05 .

Cuadro 7.12. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de PV

Variable		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
		Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Interceptó	Estimación	17.27534***	-5.45747**	-2.19691
	Error estándar	0.98425	2.15489	2.1297
Tmed	Estimación	-0.44883***	0.37524***	0.2547**
	Error estándar	0.04127	0.08575	0.08184
Pplv	Estimación	-0.00107**	0.00065**	0.00059**
	Error estándar	0.00030	0.00025	0.00025

Valor-p *** <.0001, **<0.05, *<0.1

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

El modelo seleccionado se escribe:

$$Ren_{APV} = -2.1969 + 0.25467 Tmed + 0.00059 Pplv \quad \dots(7.4.1)$$

7.4.2 Estimación del modelo de datos de panel para arroz de otoño-invierno

La producción de arroz para el ciclo OI en el periodo analizado se registró en 14 estados, pero solo dos estados tuvieron una producción en los 39 años, un estado tuvo producción un solo año y toda la superficie sembrada presentó siniestro. Para establecer el panel se consideraron 13 estados y se obtuvo una muestra de n=7 estados (Anexo A).

Cuadro 7.13. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de OI

Estadístico	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Secciones cruzadas	5	5	5
Longitud de las series temporales	39	39	39
Grados de libertad (GL)	179	175	179
ECM	2.3133	1.3223	1.3217
Raíz ECM	1.5209	1.1499	1.1496
R-cuadrado	0.12	0.5082	0.0226
Prueba de Hausman (Pr>F)		<.0001	0.2659
Componente de varianza para secciones cruzadas			3.05158
Componente de varianza para error			1.32227

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

En el cuadro 7.13 se registran los principales estadísticos para cada modelo. Al ser un modelo de panel desbalanceados la prueba Breusch-Pagan no puede realizarse. En la prueba de Hausman en el modelo 2 se rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 por lo que pueden existir efectos fijos,

no obstante, en el modelo 3 no se rechaza la hipótesis nula en un nivel de 0.05 y se concluye que pueden existir efectos aleatorios.

Cuadro 7.14. Estimaciones por tipo de modelo para rendimiento de arroz de OI

Variable		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
		Pooled	Efecto fijo unidireccional	Efecto aleatorio unidireccional
Interceptó	Estimación	8.70185***	1.03255	1.55817
	Error estándar	0.87684	1.92911	2.05172
Tmed	Estimación	-0.15365**	0.21511**	0.167*
	Error estándar	0.04598	0.09565	0.09063
Pplv	Estimación	-0.00159	0.00113	0.00093
	Error estándar	0.00106	0.00099	0.00098

Valor-p *** <.0001, **<0.05, *<0.1

Fuente: Realizado con la salida de SAS.

En el cuadro 7.14 se registran las estimaciones de cada modelo. El coeficiente estimado para la Pplv no es significativa en ningún modelo, esto puede ser a que la mayoría de la producción en OI se realiza bajo riego. El coeficiente estimado para Tmed para el modelo de efecto aleatorio es significativa en un nivel de <0.1. El modelo estimado se escribe:

$$Ren_{AOI} = -1.5582 + 0.1669 Tmed + 0.0009Pplv \quad \dots(7.4.2)$$

7.5 Cálculo de las elasticidades de rendimiento

La elasticidad es definida como el cambio porcentual en una variable dependiente ante un cambio porcentual de alguna variable independiente, permaneciendo las demás variables constantes. El coeficiente de elasticidad es un número sin dimensiones e independiente de las unidades de medida (García *et al.* 2003)

La elasticidad de rendimiento para la temperatura media y precipitación dada la definición anterior se escriben como:

$$\varepsilon_{TMed} = \frac{dRen}{dTmed} \frac{\overline{Tmed}}{\overline{Ren}} \quad \dots(7.5)$$

$$\varepsilon_{Pplv} = \frac{dRen}{dPplv} \frac{\overline{Pplv}}{\overline{Ren}} \quad \dots(7.6)$$

7.5.1 Calculo de las elasticidades de rendimiento de maíz

Con el modelo de panel calculado para rendimiento de maíz de PV (ecuación 7.2.1) , calculando las derivadas de Tmed y Pplv y sustituyendo en (7.5) y (7.6), las elasticidades de rendimiento; con el promedio de 1980 a 2018 de los estados analizados, se obtuvo una elasticidad de 2.20 para la temperatura media y de 0.2119 para la precipitación. Si la temperatura media del ciclo PV aumenta en 1 % el rendimiento aumenta en 2.2051 %, mientras que si la precipitación aumenta en 1 % el rendimiento aumenta en 0.2119 %.

Cuadro 7.15. Estimación de la elasticidad de rendimiento de maíz de PV

	Promedios			Elasticidad (ϵ)	
	Tmed	Pplv	Ren	Tmed	Pplv
1980-2018	23.3826	689.9499	1.9866	2.2051	0.2119

Fuente: Elaboración propia

Para el modelo de panel del rendimiento de maíz de OI y calculando las derivadas de Tmed y Pplv de la ecuación 7.2.2 y sustituyendo en (7.5) y (7.6) con los valores promedios de 1980-2018 se obtuvo una elasticidad de rendimiento para Tmed de 2.4448 y para precipitación de -0.0501. Si en el ciclo de OI aumenta la temperatura media en 1 % el rendimiento de maíz aumenta en 2.4448 % y si la precipitación aumenta en 1 % el rendimiento disminuye en -0.0501 %.

Cuadro 7.16. Estimación de la elasticidad de rendimiento de maíz de OI

	Promedios			Elasticidad (ϵ)	
	Tmed	Pplv	Ren	Tmed	Pplv
1980-2018	20.5582	246.2848	3.1923	2.4448	-0.0501

Fuente: Elaboración propia

7.5.2 Calculo de las elasticidades de rendimiento de frijol

Tomando en cuenta el modelo de panel para frijol de PV (7.3.1) se calcularon las derivadas con respecto a la Tmed y la Pplv y sustituyendo los valores promedios en (7.5) y (7.6) se obtuvieron las elasticidades de rendimiento para temperatura media en 0.8168 y para precipitación en 0.0494. Para el ciclo de PV si la temperatura media aumenta 1 % el rendimiento de frijol aumentaría en 0.8168 % y si la precipitación aumenta en 1 % la precipitación aumentaría en 0.0494 %.

Cuadro 7.17. Estimación de la elasticidad de rendimiento de frijol de PV

	Promedios			Elasticidad (ϵ)	
	Tmed	Pplv	Ren	Tmed	Pplv
1980-2018	21.4417	469.2801	0.83613	0.8168	0.0494

Fuente: Elaboración propia

Considerando el modelo de frijol (7.3.2) y calculando las derivadas para temperatura media y precipitación de OI, sustituyendo los valores promedios en (7.5) y (7.6) se obtuvieron las elasticidades del rendimiento de frijol de OI para temperatura media y para precipitación en 0.4426 y -0.0297, respectivamente. Si la temperatura media de OI aumenta en una unidad porcentual el rendimiento aumentaría en 0.4426 % y si la precipitación aumenta en una unidad porcentual el rendimiento disminuiría en 0.0297 %.

Cuadro 7.18. Estimación de la elasticidad de rendimiento de frijol de OI

	Promedios			Elasticidad (ϵ)	
	Tmed	Pplv	Ren	Tmed	Pplv
1980-2018	20.8415	202.9418	0.95797	0.4426	-0.0297

Fuente: Elaboración propia

7.5.3 Calculo de las elasticidades de rendimiento de arroz

Para el cálculo de las elasticidades de rendimiento de arroz con respecto a la temperatura media y precipitación del ciclo PV se derivó el modelo 7.4.1 y se sustituyeron los valores promedios en (7.5) y (7.6) y se obtuvo una elasticidad de rendimiento para Tmed de 1.3332 y para Pplv de 0.1203. Si la temperatura media aumenta en 1 % el rendimiento de arroz aumentaría en 1.3332 %. Si la precipitación aumenta en 1 % el rendimiento aumentaría en 0.1203 %.

Cuadro 7.19. Estimación de la elasticidad de rendimiento de arroz de PV

	Promedios			Elasticidad (ϵ)	
	Tmed	Pplv	Ren	Tmed	Pplv
1980-2018	25.3636	981.0231	4.8453	1.3332	0.1203

Fuente: Elaboración propia

Para el ciclo OI se obtuvo la derivada del modelo 7.4.2 para temperatura media y precipitación, y se sustituyeron los promedios en (7.5) y (7.6). Las elasticidades obtenidas fueron 0.6548 y 0.0314 para Tmed y Pplv, respectivamente. Si la temperatura media en OI aumenta en una unidad

porcentual el rendimiento de arroz aumentaría en 0.6548 % y si la precipitación aumenta en una unidad porcentual el rendimiento aumentaría en 0.0314 %.

Cuadro 7.20. Estimación de la elasticidad de rendimiento de arroz de OI

	Promedios			Elasticidad (ϵ)	
	Tmed	Pplv	Ren	Tmed	Pplv
1980-2018	20.598918	178.115036	5.2532418	0.6548	0.0314

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VIII. FORMULACIÓN DEL MODELO DE DESPLAZAMIENTO DE EQUILIBRIO

Los modelos de desplazamiento del equilibrio (EDM – equilibrium displacement model) son modelos de ecuaciones diferenciales en logaritmo que caracterizan la estática comparativa de un sistema de ecuaciones que describe el movimiento de un equilibrio a otro como resultado del cambio de uno o más parámetros de los sistemas de ecuaciones (Wohlgenant, 2011).

Estos modelos se han aplicado para evaluar los cambios en el equilibrio del mercado y se han utilizado para evaluar los cambios en los ingresos en los productores agrícolas a nivel de mercado dado los cambios en la producción y en el precio de equilibrio. Los EDM tienen una amplia aplicabilidad y son relativamente fáciles de usar (Und-Anwendung, 1999).

Muth (1964) fue el primero en presentar de forma reducida las funciones de oferta y demanda para un producto con dos factores de producción y cambios exógenos en la oferta y demanda ocasionado por una desplazador. Gardner (1975) utilizó la forma reducida de las funciones de oferta y demanda para observar el cambio del precio al productor ante un cambio exógeno. Summer & Wohlgenant (1985) utilizaron el modelo de Muth para cuantificar los efectos de un impuesto al consumo de cigarrillos en el mercado nacional y en el mercado de exportación, también fueron los primeros en aplicar el término EDM. Wohlgenant (1993) utilizó la estructura del modelo para evaluar los efectos de la publicidad y la investigación en los excedentes del consumidor y del productor. Piggott *et al.* (1995) utilizaron el modelo EDM para analizar el mercado ante un cambio en el gasto publicitario, ellos formularon el modelo en matriz algebraica. Choi *et al.* (2002) y Alamo *et al.* (2011) emplearon el modelo para cuantificar los efectos en el mercado de arroz y plátano ante un cambio exógeno en la oferta (causado por alguna enfermedad en el cultivo). Le (2016) usó el modelo EDM para evaluar los cambios en el mercado ante un cambio exógeno en la oferta (causado por los cambios en el clima).

El enfoque del EDM representa un sistema económico de relaciones de oferta y demanda, y puede mostrar los efectos de los cambios de oferta y demanda determinados exógenamente desde un equilibrio inicial; es decir, un desplazador. Los cambios en los precios de mercado y las cantidades resultantes del desplazamiento determinan cambios en los excedentes del consumidor y del productor (Fathelrahman, 2014).

El modelo básico de los EDM es representado por una función de demanda, una función de oferta y una ecuación de equilibrio. Las variables de estos modelos se especifican en términos de cambio porcentual y los parámetros en las ecuaciones estructurales son elasticidades. El análisis de los efectos del cambio en una variable endógena ante el cambio de una variable exógena se realiza en términos de cambios porcentuales ($d\ln X = dx/X$) (Tomek & Kaiser, 2014).

$$E(Q_D) = \eta(EP) + \eta\delta \quad \dots (1)$$

$$E(Q_S) = \varepsilon(EP) + \varepsilon k \quad \dots (2)$$

$$E(Q_D) = E(Q_S) \quad \dots (3)$$

Donde:

$E(Q_D)$ = cambio relativo en la cantidad de demanda

$E(Q_S)$ = cambio relativo en la cantidad de oferta

EP = cambio relativo en el precio de equilibrio de mercado

η = elasticidad precio de la demanda por Q

ε = elasticidad precio de la oferta por Q

δ = cambio relativo en la cantidad de demanda

k = cambio relativo en la cantidad de oferta

En la ecuación (1) se representa el cambio relativo en la demanda ante un cambio en el precio y en cualquier otro desplazador de la curva de demanda. La ecuación (2) representa el cambio relativo en la oferta debido a un cambio en el precio y cualquier otro desplazador de la curva de oferta. La tercera ecuación es la condición de equilibrio de mercado.

El modelo EDM puede ser expresado en términos de matrices de la forma $XY=Z$, donde Y es el vector columna de los cambios porcentuales en las variables endógenas relativas a un equilibrio inicial; X es la matriz de parámetros correspondientes a las variables endógenas; y Z es el vector columna de ceros y de cambios porcentuales en la variables exógenas junto con su parámetro. Los cambios porcentuales en las variables endógenas correspondientes a los cambios en las variables exógenas se pueden obtener de $Y= X^{-1}Z$.

Para cuantificar los efectos en el mercado de arroz y plátano Choi *et al.* (2002) y Alamo *et al.* (2011) establecieron el cambio en la oferta:

$$E(Y) = \delta \quad \dots (4)$$

$$E(A) = \varepsilon E(P) + \varepsilon E(C) \quad \dots (5)$$

$$E(S) = \varepsilon_I E(P) + \varepsilon_{IC} E(C) + \delta \quad \dots (6)$$

$$E(D) = \eta E(P) \quad \dots (7)$$

$$E(S) = E(D) \quad \dots (8)$$

Donde:

$E(Y)$ = cambio relativo en el rendimiento del cultivo x.

$E(A)$ = cambio relativo en el superficie sembrada.

$E(D)$ = cambio relativo en la cantidad de demanda

$E(S)$ = cambio relativo en la cantidad de oferta

$E(P)$ = cambio relativo en el precio de equilibrio de mercado

$E(C)$ = cambio relativo en los costos de producción

δ = cambio relativo en el rendimiento actual por el cambio relativo esperado en el rendimiento como resultado de alguna enfermedad.

η = elasticidad precio de la demanda

ε_I = elasticidad precio de la oferta

ε_{IC} = elasticidad del costo

La ecuación (4) muestra el cambio relativo en el rendimiento del cultivo por algún estrés en la planta; la ecuación (5) representa el cambio relativo en la superficie sembrada ante un cambio relativo en el precio o en el costo de producción; la ecuación (6) muestra el cambio relativo en la oferta ante un cambio relativo en el precio, en el costo o por algún estrés en la planta; la ecuación (7) muestra el cambio relativo en la demanda ante el cambio relativo en el precio y la ecuación (8) muestra la condición de equilibrio de mercado.

8.1 Formulación de los modelos de maíz, frijol y arroz

8.1.1 Formulación del modelo de mercado de maíz

El mercado de maíz es representado por trece ecuaciones. Las ecuaciones (1M) y (2M) representan el rendimiento del ciclo PV y OI, respectivamente. Ambas están en función de la temperatura media y precipitación por ciclo. Las ecuaciones (3M) y (4M) representan las superficies sembradas por ciclo (PV, OI) en función del precio al productor. La ecuación (5M) muestra la cantidad ofertada

de maíz en función del rendimiento por la superficie sembrada para cada uno de los ciclos. La ecuación (6M) establece la cantidad demanda de maíz en función del precio al consumidor. Las ecuaciones (7M) y (8M) establecen la cantidad importada de maíz y la cantidad exportada de maíz en función del precio internacional y del precio doméstico. Las expresiones (9.M) y (10M) son las ecuaciones de transmisión de precios y la ecuación (11.M) señala la ecuación de equilibrio de mercado.

$$RM_{PV} = f_{PV}(Tmed_{PV}, Pplv_{PV}) \quad \dots (1.M)$$

$$RM_{OI} = f_{OI}(Tmed_{OI}, Pplv_{OI}) \quad \dots (2.M)$$

$$SMse_{PV} = SMse_{PV}(PMp) \quad \dots (3.M)$$

$$SMse_{OI} = SMse_{OI}(PMp) \quad \dots (4.M)$$

$$QM_O = ((RM_{PV})(SMse_{PV})) + ((RM_{OI})(SMse_{OI})) \quad \dots (5.M)$$

$$QM_D = QM_D (PMc) \quad \dots (6.M)$$

$$QM_{Im} = QM_{Im} (PM_{In} + PMp) \quad \dots (7.M)$$

$$QM_{Ex} = QM_{Ex} (PM_{In} + PMc) \quad \dots (8.M)$$

$$PMp = f(PMc) \quad \dots (9.M)$$

$$PMc = f(PM_{In}) \quad \dots (10.M)$$

$$QM_D = QM_O + QM_I - QM_E \quad \dots (11.M)$$

Donde:

RM_{PV} = Rendimiento de maíz ciclo PV

$Tmed_{PV}$ = Temperatura media ciclo PV

$Pplv_{PV}$ = Precipitación acumulada ciclo PV

RM_{OI} = Rendimiento de maíz ciclo OI

$Tmed_{OI}$ = Temperatura media ciclo OI

$Pplv_{OI}$ = Precipitación acumulada ciclo OI

$SMse_{PV}$ = Superficie sembrada de maíz PV

$SMse_{OI}$ = Superficie sembrada de maíz OI

QM_S = Cantidad ofertada de maíz

QM_D = Cantidad demanda de maíz

QM_{Im} = Cantidad importada de maíz

QM_{Ex} = Cantidad exportada de maíz

PMc =Precio de maíz al consumidor

PMp =Precio al productor de maíz

PM_{In} =Precio internacional de maíz

El EDM requiere que el modelo se establezca en término de cambios relativos donde las variables con * son $dlnX = dx/X$. El modelo se expresa:

$$RM_{PV}^* = \alpha_{M1} Tmed_{PV}^* + \beta_{M1} Pplv_{PV}^* \quad \dots (1.1M)$$

$$RM_{OI}^* = \alpha_{M2} Tmed_{OI}^* + \beta_{M2} Pplv_{OI}^* \quad \dots (2.1M)$$

$$SMse_{PV}^* = \varepsilon_M PMp^* \quad \dots (3.1M)$$

$$SMse_{OI}^* = \varepsilon_M PMp^* \quad \dots (4.1M)$$

$$QM_O^* = \tau_{MPV}(RM_{MPV}^* + SMse_{MPV}^*) + \tau_{MOI}(RM_{MOI}^* + SMse_{MOI}^*) \quad \dots (5.1M)$$

$$QM_D^* = \eta_M PMC^* \quad \dots (6.1M)$$

$$QM_{Im}^* = \eta_{MIm} PM_{In}^* + \varepsilon_{PMiM} PMp^* \quad \dots (7.1M)$$

$$QM_{Ex}^* = \varepsilon_{MEx} PM_{In}^* + \eta_{PMEx} PMC^* \quad \dots (8.1M)$$

$$PMp^* = \theta_{M1} PMC^* \quad \dots (9.1M)$$

$$PMC^* = \theta_{M2} PM_{In}^* \quad \dots (10.1M)$$

$$QM_D^* = \kappa_{QM_O} QM_O^* + \kappa_{QM_{Im}} QM_{Im}^* - \kappa_{QM_{Ex}} QM_{Ex}^* \quad \dots (11.1M)$$

La ecuación 11.1 M muestra el equilibrio del mercado y κ son las porciones de oferta de maíz ($\kappa_{QM_O} = QM_O/QM_D$), importación de maíz ($\kappa_{QM_{Im}} = QM_{Im}/QM_D$) y exportación de maíz ($\kappa_{QM_{Ex}} = QM_{Ex}/QM_D$) respecto a la demanda nacional de maíz.

En el cuadro 8.1. se muestra la descripción, el valor y la fuentes de obtención de los parámetro de las ecuaciones de 1.1M a 11.1M. La estimación de las elasticidades de rendimiento de maíz se encuentran en el capítulo 7. La elasticidad precio de 0.05 respecto al área cultivada de maíz se tomó de García-Vega & Williams (1996).

Vázquez & Martínez (2011) en la publicación de elasticidades de oferta y demanda de los principales productos agropecuarios sugieren utilizar la elasticidad precio de la demanda para maíz calculada por Palma (2011) de -0.04, sin embargo Sullivan (1989) y García (1999) estimaron una elasticidad de -0.35 y -0.32, respectivamente. La elasticidad de transmisión de precios consumidor-productor (tortilla-maíz) fue tomada de González-Pérez (2015) con un valor de 0.99 y la elasticidad transmisión de precios de importación-consumidor fue tomada de Gonzáles-Rojas (2011) con un valor de 0.7, mientras que Conforti (2004) estimó una elasticidad de transmisión de precio de 0.72. En el anexo B se encuentran las estimaciones de las elasticidades del precio de importación, de exportación y de precios al mercado nacional de maíz; así como, los parámetros, participaciones y porciones totales estimados (promedios de 2014-2018).

Cuadro 8.21. Elasticidades y parámetros utilizados para maíz.

Parámetro	Definición	Valor	Fuente
α_{M1}	Elasticidad del rendimiento de maíz de la temperatura media en PV	2.21	Estimado
α_{M2}	Elasticidad del rendimiento de maíz de la temperatura media en OI	2.44	Estimado
β_{M1}	Elasticidad del rendimiento de maíz de la precipitación en PV	0.21	Estimado
β_{M2}	Elasticidad del rendimiento de maíz de la precipitación en OI	-0.05	Estimado
ε_{PM}	Elasticidad precio del área cultivada de maíz	0.07	García-Vega (1996)
η_M	Elasticidad precio de la demanda de maíz	-0.04	Palma (2011)
η_{MIM}	Elasticidad de importación de maíz	-0.87	Estimado
ε_{PMiM}	Elasticidad de importación de maíz respecto al precio al productor	1.25	Estimado
ε_{MEx}	Elasticidad de exportación de maíz	4.80	Estimado
η_{PMEx}	Elasticidad de exportación de maíz respecto al precio al consumidor	-3.37	Estimado
θ_{M1}	Elasticidad de transmisión de precios consumidor-productor de maíz	0.99	González-Pérez (2015)
θ_{M2}	Elasticidad de transmisión de precios internacional-consumidor de maíz	0.7	González-Rojas (2011)
τ_{MPV}	Participación de la producción de PV sobre la producción total de maíz	0.75	Estimado
τ_{MOI}	Participación de la producción de OI sobre la producción total de maíz	0.28	Estimado
κ_{QMO}	Porción total de la producción sobre la demanda de maíz	3.37	Estimado
κ_{QMIm}	Porción total de la importación sobre la demanda de maíz	1.76	Estimado
κ_{QMEx}	Porción total de la exportación sobre la demanda de maíz	0.13	Estimado

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Formulación del modelo de mercado de frijol

El mercado de frijol también es representado por trece ecuaciones. Al igual que en maíz las ecuaciones (1F) y (2F) representan el rendimiento del ciclo PV y OI en función de la temperatura media y precipitación por ciclo. Las ecuaciones (3F) y (4F) expresan que las superficies sembradas por ciclo (PV, OI) están en función del precio al productor. La ecuación (5F) muestra que la cantidad ofertada de maíz esta en función del rendimiento por la superficie sembrada para cada uno de los ciclos. La ecuación (6F) establece que la cantidad demanda se encuentra en función del precio al consumidor. Las ecuaciones (7F) y (8F) establecen que la cantidad importada y la cantidad exportada de frijol están en función del precio internacional y del precio del bien doméstico. Las

expresiones (9F) y (10F) son las ecuaciones de transmisión de precios y la ecuación (11F) señala la ecuación de equilibrio de mercado de frijol.

$$RF_{PV} = f_{PV}(Tmed_{PV}, Pplv_{PV}) \quad \dots (1F)$$

$$RF_{OI} = f_{OI}(Tmed_{OI}, Pplv_{OI}) \quad \dots (2F)$$

$$SFse_{PV} = SFse_{PV}(PFp) \quad \dots (3F)$$

$$SFse_{OI} = SFse_{OI}(PFp) \quad \dots (4F)$$

$$QF_O = ((RF_{PV})(SFse_{PV})) + ((RF_{OI})(SFse_{OI})) \quad \dots (5F)$$

$$QF_D = QF_D(PFc) \quad \dots (6F)$$

$$QF_{Im} = QF_{Im}(PF_{Im} + PFp) \quad \dots (7F)$$

$$QF_{Ex} = QF_{Ex}(PF_{Ex} + PFc) \quad \dots (8F)$$

$$PFp = f(PFc) \quad \dots (9F)$$

$$PFc = f(PF_{Im}) \quad \dots (10F)$$

$$QF_D = QF_O + QF_{Im} - QF_{Ex} \quad \dots (11F)$$

Donde:

RF_{PV}= Rendimiento de frijol ciclo PV
 Tmed_{PV}= Temperatura media ciclo PV
 Pplv_{PV}= Precipitación acumulada ciclo PV
 RF_{OI}= Rendimiento de frijol ciclo OI
 Tmed_{OI}= Temperatura media ciclo OI
 Pplv_{OI}= Precipitación acumulada ciclo OI
 SFse_{PV}= Superficie sembrada de frijol PV
 SFse_{OI}= Superficie sembrada de frijol OI

QF_S= Cantidad ofertada de frijol
 QF_D= Cantidad demanda de frijol
 QF_{Im}= Cantidad importada de frijol
 QF_{Ex}= Cantidad exportada de frijol
 PFp=Precio al productor de frijol
 PFc=Precio al consumidor de frijol
 PF_{Im}=Precio internacional de frijol

Para establecer el modelo de EDM se establecen las ecuaciones en forma de cambios relativos. Las variables con * se encuentran en forma $dlnX = dx/X$. La ecuación 11.1F muestra el equilibrio del mercado y k son las porciones de oferta de frijol ($\kappa_{QF_O} = QF_O/QF_D$), importación de frijol ($\kappa_{QF_{Im}} = QF_{Im}/QF_D$) y exportación de frijol ($\kappa_{QF_{Ex}} = QF_{Ex}/QF_D$) respecto a la demanda nacional de frijol.

$$RF_{PV}^* = \alpha_{F1} Tmed_{PV}^* + \beta_{F1} Pplv_{PV}^* \quad \dots (1.1F)$$

$$RF_{OI}^* = \alpha_{F2} Tmed_{OI}^* + \beta_{F2} Pplv_{OI}^* \quad \dots (2.1F)$$

$$SFse_{PV}^* = \varepsilon_F PFp^* \quad \dots (3.1F)$$

$$SFse_{OI}^* = \varepsilon_F PFp^* \quad \dots (4.1F)$$

$$QF_O^* = \tau_{FPV}(RF_{PV}^* + SFse_{PV}^*) + \tau_{FOI}(RF_{OI}^* + SFse_{OI}^*) \quad \dots(5.1F)$$

$$QF_D^* = \eta_F PFC^* \quad \dots (6.1F)$$

$$QF_{Im}^* = \eta_{FIm} PF_{In}^* + \varepsilon_{PF} PFp^* \quad \dots (7.1F)$$

$$QF_{Ex}^* = \varepsilon_{FEx} PF_{In}^* + \eta_{PFEx} PFC^* \quad \dots (8.1F)$$

$$PFp^* = \theta_{F1} PFC^* \quad \dots (9.1F)$$

$$PFC^* = \theta_{F2} PF_{In}^* \quad \dots (10.1F)$$

$$QF_D^* = \kappa_{QF_O} QF_O^* + \kappa_{QF_{Im}} QF_{Im}^* - \kappa_{QF_{Ex}} QF_{Ex}^* \quad \dots (11.1F)$$

El cuadro 8.2. muestra la descripción, el valor y la fuentes de obtención de los parámetro de las ecuaciones de frijol (1.1F a 13.1F). La estimación de las elasticidades de rendimiento de frijol se encuentran en el capítulo 7. La elasticidad precio de la demanda de frijol utilizada fue la estimada por Gúzman (2019) en -0.30, mientras que Torres-Sandoval (2008) estimó la elasticidad precio de la demanda de frijol en -0.56, Varela (1995) en -0.08 y FAPRI (2013) en -0.44. La elasticidad de transmisión de precios consumidor-productor y de importación-consumidor se tomaron de las estimaciones de Guzmán (2019). La elasticidad precio del área cultivada de frijol, las elasticidades precio de importación, precio de exportaciones, las elasticidades precio sobre el mercado nacional de frijol; y los datos para la estimación de las participaciones y porciones totales estimadas (promedios 2014-2018) se encuentran en el anexo C.

Cuadro 8.22. Elasticidades y parámetros utilizados para frijol.

Parámetro	Definición	Valor	Fuente
α_{F1}	Elasticidad del rendimiento de frijol de la temperatura media en PV	0.82	Estimado
α_{F2}	Elasticidad del rendimiento de frijol de la temperatura media en OI	0.44	Estimado
β_{F1}	Elasticidad del rendimiento de frijol de la precipitación en PV	0.05	Estimado
β_{F2}	Elasticidad del rendimiento de frijol de la precipitación en OI	-0.03	Estimado
ε_F	Elasticidad precio del área cultivada de frijol	0.1763	Estimado
η_F	Elasticidad precio de la demanda de frijol	-0.30	Guzmán (2019)
η_{FIM}	Elasticidad de importación de frijol	-0.83	Estimado
ε_{PFiM}	Elasticidad de importación de frijol respecto al precio al productor	1.26	Estimado
ε_{FEx}	Elasticidad de exportación de frijol	1.02	Estimado
η_{PMEx}	Elasticidad de exportación de frijol respecto al precio al consumidor	-1.39	Estimado
θ_{F1}	Elasticidad de transmisión de precios consumidor-productor de frijol	0.51	Guzmán (2019)
θ_{F2}	Elasticidad de transmisión de precios internacional-consumidor de frijol	0.27	Guzmán (2019)
τ_{FPV}	Participación de la producción de PV sobre la producción total de maíz	0.81	Estimado
τ_{FOI}	Participación de la producción de OI sobre la producción total de maíz	0.24	Estimado
κ_{QM_O}	Porción total de la producción sobre la demanda de maíz	4.68	Estimado
κ_{QFI_m}	Porción total de la importación sobre la demanda de maíz	0.53	Estimado
$\kappa_{QF_{Ex}}$	Porción total de la exportación sobre la demanda de maíz	0.21	Estimado

Fuente: Elaboración propia

8.1.3 Formulación del modelo de mercado de arroz

El mercado de arroz, como el de maíz y frijol se representa en trece ecuaciones. Las ecuaciones (1A) y (2A) establecen que el rendimiento del ciclo PV y OI se encuentran en función de la temperatura media y precipitación por ciclo. Las ecuaciones (3A) y (4A) establecen que las superficies sembradas para cada ciclo (PV, OI) se encuentran en función del precio al productor. La ecuación (5A) muestra que la cantidad ofertada de arroz esta en función del rendimiento por la superficie sembrada para cada uno de los ciclos. La ecuación (6A) muestra que la cantidad demanda se encuentra en función del precio al consumidor de frijol. Las ecuaciones (7A) y (8A) señalan que

la cantidad importada de maíz y la cantidad exportada de arroz están en función del precio internacional de arroz y del precio doméstico. Para las ecuaciones (9A) y (10A) se establece la transmisión de precios y la ecuación (11A) establece el equilibrio de mercado.

$$RA_{PV} = f_{PV}(Tmed_{PV}, Pplv_{PV}) \quad \dots (1.A)$$

$$RA_{OI} = f_{OI}(Tmed_{OI}, Pplv_{OI}) \quad \dots (2.A)$$

$$SAse_{PV} = SAse_{PV}(PAp) \quad \dots (3.A)$$

$$SAse_{OI} = SAse_{OI}(PAp) \quad \dots (4.A)$$

$$QA_O = ((RA_{PV})(SAse_{PV})) + ((RA_{OI})(SAse_{OI})) \quad \dots (5.A)$$

$$QA_D = QA_D(PAc) \quad \dots (6.A)$$

$$QA_{Im} = QA_{Im}(PA_{In} + PAp) \quad \dots (7.A)$$

$$QA_{Ex} = QA_{Im}(PA_{In} + PAc) \quad \dots (8.A)$$

$$PAp = f(PAc) \quad \dots (9.A)$$

$$PAc = f(PA_{In}) \quad \dots (10.A)$$

$$QA_D = QA_O + QA_{Im} - QA_{Ex} \quad \dots (11.A)$$

Donde:

RA_{PV}= Rendimiento de arroz ciclo PV

Tmed_{PV}= Temperatura media ciclo PV

Pplv_{PV}= Precipitación acumulada ciclo PV

RA_{OI}= Rendimiento de arroz ciclo OI

Tmed_{OI}= Temperatura media ciclo OI

Pplv_{OI}= Precipitación acumulada ciclo OI

SAse_{PV}= Superficie sembrada de arroz PV

SAse_{OI}= Superficie sembrada de arroz OI

QA_S= Cantidad ofertada de arroz

QA_D= Cantidad demanda de arroz

QA_{Im}= Cantidad importada de arroz

QA_{Ex}= Cantidad exportada de arroz

PAp=Precio al productor de arroz

PAc=Precio al consumidor de arroz

PA_{In}=Precio de internacional de arroz

Para simular el impacto de las variaciones del clima en el mercado del arroz, las variables del modelo se deben expresar en cambios porcentuales ($X * = dlnX = dx/X$). La ecuación 11.1 M muestra el equilibrio del mercado y k son las porciones de oferta de arroz ($\kappa_{QA_O} = QA_O/QA_D$), importación de arroz ($\kappa_{QA_{Im}} = QA_{Im}/QA_D$) y exportación de arroz ($\kappa_{QA_{Ex}} = QA_{Ex}/QA_D$) respecto a la demanda nacional de arroz.

$$RA_{PV}^* = \alpha_1 Tmed_{PV}^* + \beta_1 Pplv_{PV}^* \quad \dots (1.1A)$$

$$RA_{OI}^* = \alpha_2 Tmed_{OI}^* + \beta_2 Pplv_{OI}^* \quad \dots (2.1A)$$

$$SAse_{PV}^* = \varepsilon PAp^* \quad \dots (3.1A)$$

$$SAse_{OI}^* = \varepsilon PAp^* \quad \dots (4.1A)$$

$$QA_O^* = \tau_{PV}(RA_{PV}^* + SAse_{PV}^*) + \tau_{OI}(RA_{OI}^* + SAse_{OI}^*) \quad \dots(5.1A)$$

$$QA_D^* = \eta PAC^* \quad \dots (6.1A)$$

$$QA_{Im}^* = \eta_{Im} PA_{In}^* + \varepsilon_{PAiM} PAp_{Im}^* \quad \dots (7.1A)$$

$$QA_{Ex}^* = \varepsilon_{Ex} PA_{Ex}^* + \eta_{PMEx} PAC_{Ex}^* \quad \dots(8.1A)$$

$$PAp^* = \theta_1 PAC^* \quad \dots (9.1A)$$

$$PAC^* = \theta_2 PA_{In}^* \quad \dots (10.1A)$$

$$QA_D^* = \tau_{QFO} QA_O^* + \tau_{QFIm} QA_{Im}^* - \tau_{QFEx} QA_{Ex}^* \quad \dots (11.1A)$$

La descripción, el valor y las fuentes de obtención de los parámetros de las ecuaciones de arroz de 1.1A a 11.1A se muestran en el cuadro 8.3. Las estimaciones de las elasticidades de rendimiento de arroz se muestran en el capítulo 7. La elasticidad de precio del área cultivada de arroz (0.097) se obtuvo de Wailes (2011). La elasticidad precio de la demanda de arroz tomada fue la estimada por Vázquez (2015) en -0.0834. También fue estimada por FAPRI (2013) y Wailes (2011) con una elasticidad de -0.05 en ambos casos y García (1996) estimó una elasticidad de -0.09. La elasticidad de transmisión de precios consumidor-productor y de importación-consumidor se estimaron en 0.8555 y en 0.5395 (anexo D), respectivamente, mientras que Wailes (2011) estimó una elasticidad de transmisión de precios para productor-consumidor de 0.503 e internacional-consumidor de 0.599).

En el anexo D se muestran las estimaciones de las elasticidades precio de la importación, precio de la exportación y precio sobre el mercado nacional; así como las estimaciones de los parámetros, participaciones y porciones totales.

Cuadro 8.23. Elasticidades y parámetros utilizados para arroz.

Parámetro	Definición	Valor	Fuente
α_{A1}	Elasticidad del rendimiento de arroz de la temperatura media en PV	1.33	Estimado
α_{A2}	Elasticidad del rendimiento de arroz de la temperatura media en OI	0.65	Estimado
β_{A1}	Elasticidad del rendimiento de arroz de la precipitación en PV	0.12	Estimado
β_{A2}	Elasticidad del rendimiento de arroz de la precipitación en OI	0.03	Estimado
ε_A	Elasticidad precio del área cultivada de arroz	0.097	Wailes (2011)
η_A	Elasticidad precio de la demanda de arroz	-0.08	Varela (1995)
η_{AIM}	Elasticidad de importación de arroz	-0.41	Estimado
ε_{PAiM}	Elasticidad de importación de arroz respecto al precio al productor	0.33	Estimado
ε_{AEx}	Elasticidad de exportación de arroz	1.95	Estimado
η_{PAEx}	Elasticidad de exportación de arroz respecto al precio al consumidor	-2.83	Estimado
θ_{A1}	Elasticidad de transmisión de precios consumidor-productor de arroz	0.86	Estimado
θ_{A2}	Elasticidad de transmisión de precios internacional-consumidor de arroz	0.54	Estimado
τ_{APV}	Participación de la producción de PV sobre la producción total de arroz	0.69	Estimado
τ_{AOI}	Participación de la producción de OI sobre la producción total de arroz	0.32	Estimado
κ_{QAo}	Porción total de la producción sobre la demanda de arroz	1.01	Estimado
κ_{QAIm}	Porción total de la importación sobre la demanda de arroz	4.23	Estimado
κ_{QAEx}	Porción total de la exportación sobre la demanda de arroz	0.24	Estimado

Los modelos para maíz, frijol y arroz se manejaron como mercados independientes. Los tres modelos cuentan con 11 variables endógenas (R_{PV} , R_{OI} , Sse_{PV} , Sse_{OI} , Q_O , Q_D , Q_{IM} , Q_{EX} , P_p , P_c) y 5 variables exógenas ($T_{med_{PV}}$, $T_{med_{OI}}$, $P_{pl_{VPV}}$, $P_{pl_{VOI}}$ y PM_{In}). Para medir los cambios porcentuales se expresaron las ecuaciones en una matriz $Y=X^{-1}Z$.

Donde Y es el vector columna de los cambios porcentuales en las variables endógenas, X^{-1} es la inversa de la matriz de parámetros correspondientes a las variables endógenas y Z es el vector columna de ceros y de cambios porcentuales en la variables exógenas junto con su parámetros.

CAPÍTULO IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para conocer el impacto que un cambio en la precipitación y/o en la temperatura media tendría sobre la oferta de tres principales granos básicos en México y en el mercado nacional se construyeron tres modelos de desplazamiento de equilibrio para cada cultivo de manera independiente. Los modelos EDM miden los cambios porcentuales en la oferta interna, la demanda interna, las importaciones y las exportaciones ante un cambio ocasionado por un desplazamiento en la oferta interna, que es causado por los cambios en la temperatura y precipitación proyectados en México.

Para conocer el efecto de las variaciones en temperatura y precipitación se desarrollaron modelos de panel para cada uno de los ciclos de los tres cultivos y se obtuvieron las elasticidades del rendimiento sobre las variables climáticas. Los parámetros obtenidos en el modelo de panel para los tres cultivos en el ciclo PV fueron significativos en un nivel de 0.05 y <0.0001 . Esto muestra que los cultivos son afectados por la precipitación y la temperatura de manera directa; y durante el periodo estudiado (1980-2017) el 89.27 % y el 93.02 % de la superficie sembrada de maíz y frijol provino de la modalidad de temporal. En arroz el 58.45 % de la superficie sembrada fue de temporal.

Para maíz del ciclo OI las variables temperatura y precipitación fueron significativas a un nivel de <0.0001 y <0.1 . Para frijol y arroz la temperatura fue significativa a un nivel de 0.1 mientras que las precipitaciones no fueron significativas, esto puede ser porque en las superficies sembradas de los cultivos de frijol y maíz van cercanos a ± 50 % en temporal y en riego. En arroz el 92.24 % de la superficie sembrada fue de 94.24 en la modalidad riego.

Las proyecciones futuras sobre las variables climáticas esperan incrementos en las temperaturas y disminuciones en las precipitaciones, así como aumentos de los fenómenos meteorológicos extremos haciendo más vulnerable a la agricultura mexicana (Hellin *et al.* 2014, Ojeda-Bustamante *et al.* 2015). En estudios realizados concluyen que el cambio climático afectaría negativamente la producción de maíz y de frijol con efectos en los rendimientos y/o en las áreas aptas para la producción en escenarios futuros de 2021 a 2080, 2051 a 2050 (Mendelsohn *et al.*, 2009; Ruíz-Corral *et al.*, 2011; Tinoco-Rueda *et al.*, 2011, Medina-García *et al.*, 2016, Murray-Tortarolo *et al.*, 2018), pero también se ha encontrado que en áreas con mayor altura los incrementos en las temperaturas serían benéficos (Conde *et al.*, 2000). La producción de temporal tendría efectos

negativos en el rendimiento y la producción de riego es mas estable; en temporal el factor que mas influye en los rendimientos es la temperatura (principalmente la cálidas) y en riego es la precipitación (Ureta *et al.* 2020) con una relación inversa (Mendelsohn, 2009).

Sin embargo en el periodo analizado el incremento en la temperatura media a nivel nacional no ha sobrepasado los 22.50 °C. Para los meses de abril a septiembre, que corresponden a la siembra de PV del ciclo agrícola, en el periodo 2010-2018 la mayor temperatura que se presentó fue en Junio y se notó por arriba de los 25 °C. Para los meses de siembra de OI (octubre a marzo) el incremento de la temperatura media fue mayor en los meses de diciembre a febrero. En ambos ciclos se observan incrementos en la temperatura máxima y mínima. Es importante recordar que las temperatura óptima en México para maíz va de los 14 a 27 °C, para frijol entre los 20 a 28 °C y en arroz de 22 a 40 °C (Díaz, 2012; SAGARPA, 2017). Temperaturas por arriba de los 32 °C comienzan a ser perjudiciales en maíz, por arriba de los 30 °C en frijol (Ruíz-Corral *et al.*, 2013)

En cuanto al acumulado de la precipitación nacional en los últimos 10 años se han presentado años con mayor acumulado de precipitación cercanos a los 1,100 mm y años con un acumulado menor cercano a los 800 mm. En los meses de PV se ha observado un incremento de las precipitaciones de julio a septiembre y en los meses de OI la precipitación acumulada fue menor en los meses de octubre a noviembre de 2010 a 2018, comparado con los datos decenales de 1980, 1990 y 2000. En el mes de febrero se observó un incremento de hasta los 40 mm acumulados. En México la precipitación para la producción de maíz debe estar entre 480 y 1500 mm, para frijol de 400 a 1200 mm y en arroz de 1000 a 3500 mm (Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

En un estudio realizado por Eiken *et al.* (2018) no se encontró evidencia de que en entre 1980 y 2010 las tendencias climáticas, la dinámica del mercado nacional e internacional y los cambios en las políticas nacionales han afectado el sector de maíz en México. Mientras que Medina-García *et al.* (2016) encontró que la superficie con potencial productivo medio aumentará en un futuro 2021 a 2040 para ir disminuyendo conforme pase el tiempo y con relación al cambio climático.

Las evaluaciones de los impactos de las variables climáticas en maíz muestran los efectos negativos en escenarios futuros pero Ureta *et al.* (2012) encontraron que razas de maíz nativas de México muestran nuevas áreas de potencial productivo ante el cambio climático.

9.1 Simulación del modelo para un cambio porcentual en las variables climáticas

Si la temperatura media nacional aumentara en 1 % durante el ciclo PV entonces la cantidad ofertada de maíz aumentaría en 1.66 % y las exportaciones en 7.22 %, mientras que las importaciones, el precio al productor y el precio al consumidor se reducirían en 2.58, 2.07 y 2.14 %, respectivamente (Cuadro 9.1). Un efecto similar en cuanto a signos ocurre si las precipitación en PV y la temperatura de OI se incrementarán en 1 %. Mientras que si la precipitación aumenta en 1 % la oferta y exportación de maíz disminuiría en 0.01 % y las importaciones aumentarían en 0.03 %; los cambios en la demanda y precio al consumidor son muy pequeños o iguales a 0 %.

Cuadro 24. Efecto de un cambio porcentual en 1 % en las variables climáticas en el mercado de tres granos básicos

Variables endógenas	PV		OI	
	Temperatura media	Precipitación	Temperatura media	Precipitación
Efecto en el mercado de maíz				
Oferta	1.66	0.16	0.68	-0.01
Demanda	0.09	0.01	0.04	0.00
Importaciones	-2.58	-0.23	-1.06	0.03
Exportaciones	7.22	0.81	2.97	-0.01
Precio al productor	-2.07	-0.19	-0.85	0.02
Precio al consumidor	-2.14	-0.24	-0.88	0.00
Efecto en el mercado de frijol				
Oferta	0.66	0.04	0.11	-0.01
Demanda	1.03	0.09	0.17	0.00
Importaciones	-2.02	-0.02	-0.30	0.06
Exportaciones	4.77	0.42	0.78	-0.01
Precio al productor	-1.60	-0.01	-0.24	0.05
Precio al consumidor	-3.42	-0.30	-0.56	0.01
Efecto en el mercado de arroz				
Oferta	0.92	0.08	0.21	0.01
Demanda	0.04	0.01	0.01	0.00
Importaciones	-0.12	0.00	-0.03	0.00
Exportaciones	1.48	0.26	0.37	0.08
Precio al productor	-0.38	-0.01	-0.08	0.01
Precio al consumidor	-0.52	-0.09	-0.13	-0.03

En el mercado de frijol ante un cambio porcentual en la temperatura en 1 % entonces la oferta, la demanda y las exportaciones aumentarían en 0.66, 1.03 y 4.77 %, respectivamente mientras que las importaciones, el precio al productor y al consumidor disminuirían en 2.02, 1.6 y 3.42 %. Si el cambio de la temperatura se diera en el ciclo OI la oferta la demanda y las exportaciones aumentarían en 0.11, 0.17 y 0.78 %, para las importaciones, el precio al productor y consumidor la

disminución sería de -0.3, -0.24 y -0.56 %. Un incremento en la precipitación de OI en 1 % disminuiría tanto a la oferta como a las exportaciones en 0.01%, las importaciones el precio al consumidor y al productor aumentarían en 0.06, 0.05 y 0.01 %.

En cuanto al efecto de un cambio porcentuales 1 % en la temperatura de PV en el mercado de arroz habría un incremento en la oferta 0.92 %, en la demanda 0.04 % y las exportaciones aumentarían 1.48 %, las importaciones disminuirían en 0.12 %, el precio al productor y al consumidor disminuirían en 0.38 y 0.52 %, respectivamente. Un incremento del 1 % en la precipitación en el ciclo PV tendría un incremento en la oferta en 0.08 %, en la demanda en 0.01 % y en las exportaciones en 0.26 %, mientras que el precio al productor y al consumidor disminuirían en 0.01 y 0.09 % y la cantidad importada no cambiaría.

Si el cambio porcentual ocurriera en la precipitación para OI los cambios son pequeños, la oferta y las exportaciones aumentarían en 0.01 y 0.08 %, la demanda y las importaciones tendrían cambios muy pequeños (0 %), el precio al productor aumentarían en 0.01 y el precio al consumidor se reduciría en 0.03 %.

Para los tres granos básicos el mayor cambio en el mercado nacional se da en el ciclo PV, ya que la mayor participación de la producción total es en este ciclo.

9.2 Simulación del modelo para los cambios proyectados en las variables climáticas

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), actualizaron los escenarios de cambio climático en México para el futuro cercano (2015-2039) con los escenarios de mitigación RCP4.5 (emisiones medias de gases de efecto invernadero) y RCP8.5 (emisiones altas de gases de efectos invernadero) (SEMARNAT, 2016).

Salinas-Prieto *et al.* (2015) muestran el cambio de las temperaturas y precipitaciones por periodos (PV y OI) y por horizonte cercano (2015-2039), lejano (2075-2090) y escenario de mitigación . Se tomaron las proyecciones de un horizonte cercano con un escenario RCP4.5 y RCP8.5. Bajo las proyecciones RCP4.5 las precipitaciones en PV disminuirán de 0 a 6 % en el país y en OI dependiendo la región se distribuirán de 5 a -20 %, las temperaturas máximas en PV y OI aumentaran entre 1 y 2 °C y las temperaturas mínimas en ambos periodos incrementaran entre 0.9 y 1.6 °C. Para el escenario RCP8.5 las precipitaciones se reducirán entre 0 y 12 % en PV y en OI

30 % para OI. Las temperaturas máximas en PV y OI aumentarán entre 1 y 2 °C y las temperaturas mínimas entre 0.9 a 1.6 °C en PV y entre 0.9 y 1.4 °C en OI.

Para obtener el cambio porcentual de la temperatura Le (2016) dividió el valor absoluto del cambio en la temperatura (°C) entre el valor promedio del periodo base. La precipitación ya está dada en cambio porcentual.

El cambio en la temperatura para PV y OI que se tomó fue de un incremento de 1.3 °C bajo el escenario RC4.5; y para el escenario RC8.5 fue de un incremento de 1.5 °C en PV y 1.2 °C en OI. Las temperatura base en PV y OI fue de 24.38 y 17.20 °C, respectivamente (Cuadro 9.2).

Cuadro 25. Cambio proyectado (%) para 2015-2039

Variable	RCP4.5	RCP8.5
Temperatura media Primavera-Verano	5.33	6.15
Precipitación Primavera-Verano	-3.00	-10.00
Temperatura media Otoño-Invierno	7.56	6.98
Precipitación Otoño-Invierno	-5.00	-10.00

Fuente: Calculado con proyecciones de Salinas-Prieto *et al.* (2015).

En el análisis de los cambios en el mercado nacional de los tres granos la oferta se incrementaría, las importaciones se reducirían y las exportaciones aumentarían. Analizando los cambios en maíz, en el escenario RC4.5 para PV la cantidad ofertada nacional incrementaría en 8.36 % y en OI el incremento sería de 5.23%. Bajo el escenario RCP8.5 la oferta para el ciclo PV se incrementaría en 8.62 % y en OI en 4.91 % (Cuadro 9.3).

La oferta de frijol nacional bajo el escenario RCP4.5 se incrementaría en 3.42 % y 0.83 % en PV y OI, respectivamente. En el escenario RCP8.5 el incremento en la oferta de PV sería de 3.68 % y en OI sería 0.81 %. En el mercado de arroz de PV bajo RCP4.5 la oferta nacional se incrementaría para PV en 4.64 % y para OI en 1.52 %, mientras que en el escenario RCP8.5 el incremento en la oferta de PV sería de 4.82 % y en OI de 1.35 % (Cuadro 9.3).

En el cuadro 9.3 el cambio porcentual en el ingreso al productor se obtuvo sumando el cambio porcentual en la cantidad ofertada y el cambio porcentual en el precio al productor. El cambio en el ingreso al consumidor se obtuvo sumando el cambio porcentual en la cantidad demanda y el cambio porcentual en el precio al consumidor. Los ingresos a los importadores y exportadores no fueron calculados por que México es un tomador de precios y estas dependen principalmente de

los precios internacionales. México importa granos básicos para completar el consumo doméstico principalmente de arroz.

Cuadro 26 Efecto del cambio proyectado (%) para 2015-2039 en el mercado de tres granos básicos

Variables endógenas	PV		OI	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Efecto en el mercado de maíz				
Oferta	8.36	8.62	5.23	4.91
Demanda	0.43	0.43	0.27	0.25
Importaciones	-13.03	-13.50	-8.16	-7.67
Exportaciones	36.09	36.36	22.49	20.79
Precio al productor	-10.46	-10.84	-6.55	-6.16
Precio al consumidor	-10.70	-10.78	-6.67	-6.16
Cambio en el ingreso al productor	-2.09	-2.21	-1.32	-1.25
Cambio en el ingreso al consumidor	-10.27	-10.35	-6.40	-5.92
Efecto en el mercado de frijol				
Oferta	3.42	3.68	0.83	0.81
Demanda	5.20	5.41	1.27	1.19
Importaciones	-10.71	-12.25	-2.59	-2.70
Exportaciones	24.16	25.11	5.92	5.51
Precio al productor	-8.51	-9.74	-2.06	-2.14
Precio al consumidor	-17.34	-18.02	-4.25	-3.95
Cambio en el ingreso al productor	-5.09	-6.06	-1.22	-1.34
Cambio en el ingreso al consumidor	-12.14	-12.62	-2.97	-2.77
Efecto en el mercado de arroz				
Oferta	4.64	4.82	1.52	1.35
Demanda	0.16	0.15	0.05	0.04
Importaciones	-0.52	-0.61	-0.16	-0.17
Exportaciones	9.72	8.92	3.26	2.45
Precio al productor	-1.57	-1.85	-0.50	-0.53
Precio al consumidor	-2.02	-1.86	-0.68	-0.51
Cambio en el ingreso al productor	3.07	2.97	1.02	0.82
Cambio en el ingreso al consumidor	-1.86	-1.71	-0.63	-0.17

Si se mantiene el mercado constante y solo los cambios climáticos afectaran a la cantidad ofertada, los ingresos a los consumidores y productores de maíz, frijol y tendrían una disminución en los cuatro escenarios (2 por ciclo y 2 por escenario RCP). Sin embargo la disminución del ingreso al consumidor de maíz y frijol es mayor que en el ingreso al productor debido a la elasticidad precio de la demanda (inelástica). En el caso del arroz los cambios en las cantidades ofertadas son mayores a los cambios en el precio al productor, generando un incremento en el ingreso al productor y una disminución en el ingreso al consumidor por ser una demanda inelástica.

CAPÍTULO X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

La relación encontrada entre las variables climáticas y el rendimiento son contrastantes con los efectos que las proyecciones de cambio climático tendrán sobre los rendimientos. Este contraste puede ser como consecuencia de que se analizó un periodo relativamente corto (1980-2018) y los análisis del cambio climático se han modelado con series desde 1950, 1960, 1970 y mediante el uso de modelos generales de circulación.

La temperatura media y la precipitación nacional aun se encuentran entre los óptimos para cada cultivo. Sin embargo las temperaturas máximas nacionales han estado incrementado y han sobrepasado los 32 °C en el mes de mayo. Esto podría ocasionar que en un futuro el incremento de las temperaturas pudiera afectar los rendimientos de los cultivos. Las precipitaciones para PV han incrementado entre junio y septiembre, mientras que en OI se ha visto una reducción de octubre a enero.

Los efectos de un cambio porcentual en la temperatura media y precipitaciones sobre la oferta de cada uno de los cultivos es mayor para la producción proveniente del ciclo PV, ya que tiene mayor participación sobre la producción total. Las temperaturas tienen un efecto importante sobre los tres cultivos. En maíz las elasticidades del rendimiento son similares en PV (2.21) y en OI (2.44). Para frijol la elasticidad del rendimiento calculada para PV fue de 0.82 y para OI de 0.44. Mientras que en arroz la elasticidad fue de 1.33 (PV) y 0.65 (OI).

Las proyecciones del incremento en la temperatura media a nivel nacional muestra un incremento entre el 1.1 y 1.3 para un escenario RCP4.5 y de 1.3 a 1.5 °C para un escenario RCP8.5. En la precipitación a nivel nacional se espera una disminución de entre 1 y 11 %. También se cuentan con los cambios por estación (PV y OI). En los escenarios analizados un incremento en las temperaturas y una disminución en las precipitaciones durante un futuro cercano ocasionan un incremento en la oferta de los tres granos básicos. En maíz y frijol tanto productores como consumidores observan una reducción en los ingresos, sin embargo es mayor en consumidores por su elasticidad. En arroz el cambio en el ingreso al productor es positivo y el ingreso al consumidor es negativo. El consumo de maíz, frijol y arroz es importante en la alimentación mexicana; maíz y frijol son productos que se cultivan en grandes hectáreas y en pequeñas huertas familiares.

10.2 Recomendaciones

El uso de los modelos EDM permite conocer los posibles cambios en los desplazadores de oferta y demanda, desde un pequeño modelo básico a modelos que ven los cambios en los distintos niveles de comercialización o en un conjunto de bienes y servicios agregados, en los cambios en el comercio internacional, etc. El modelo para los tres granos básicos se puede agrandar y ver el comportamiento de los tres simultáneamente usando las elasticidades cruzadas para oferta y demanda.

Este trabajo solo analizó datos de 1980 a 2018 y no se obtuvieron proyecciones, solo muestra los posibles cambios en un horizonte cercano. En los últimos años las proyecciones de variables climáticas y rendimientos han estado haciendo uso de mapas y podrían implementarse en este tipo de estudios.

Los cambios en el clima se pueden realizar a nivel municipal y estatal para conocer los efectos en cada una de las regiones. Los análisis realizados en maíz se han hecho para Chiapas, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Tamaulipas y Estado de México. Para frijol se han analizado los estados de Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla y Chiapas.

El realizar estudios a nivel desagregado permitiría conocer los efectos del clima en los estados de la República faltantes y donde algunos aún realizan la siembra de plantas nativas y así poder tomar decisiones sobre las regiones mas vulnerables. Existen estudios que miden la vulnerabilidad pero muy pocos miden los efectos económicos.

CAPÍTULO X. LITERATURA CITADA

- Alamo C, Evans E, Brugueras A, Nalampang S. 2007. Economic Impact and Trade Implications of the Introduction of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) into Puerto Rico. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 39(S1), 5-17. doi:10.1017/S107407080002890X
- Ajmani, V. (2009). *Applied econometrics using the SAS systems*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA.
- Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann R., Gómez-Cruz M. A. y Almaguer-Vargas G. (2008). Competitividad del frijol mexicano frente al de Estados Unidos en un contexto de liberalización comercial. *Region y Sociedad* 20(42):37-62.
- Awika, J. M. (2011). Major Cereal Grains Production and Use around the World Advances In: Awika JM, Piironen V, Bean S, editors. *Advances in Cereal Science: Implications to Food Processing and Health Promotion*. American Chemical Society. 1089: 1–13
- Baltagi, B. (2008). *Econometric analysis of panel data*. John Wiley & Sons. Chichester, UK
- Borja-Bravo, M., Osuna-Ceja, E.S., Arellano-Arciniega, S., García-Hernández, R.V. y Martínez-Gamiño M.A. (2018). Competitividad y eficiencia en la producción de frijol en condiciones de temporal con tecnología tradicional y recomendada. *Revista Fitotecnia Mexicana* (4):43-450.
- Bounman B.A.M., Haefele S.M., Izzi G., Peng S., Hsiao T.C. (2012). Rice in Crop yield response to water (Vol. 1028). Rome: FAO. 500 p.
- Capps, O. (2019). A Selective Overview of Panel Data with Applications in SAS ®. 3584-2019
- Choi, J. S., Sumner, D. A., Buck Jr, F. H., Webster, R. K., & Greer, C. A. (2002). Economic consequences of rice blast disease in California in Second temperate rice conference. *Proceedings of the Second Temperate Rice Conference*. 13-17 June 1999. Sacramento, California, USA. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 281-288.
- Conagua (2015). *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2015*. Conagua. México.
- Conde, C., Ferrer, R.M., Liverman, D. (2000). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZE. In: Gay-García, C. (comp). *México: una Visión Hacia el Siglo XXI. El Cambio Climático en México*. México, D. F. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. pp: 93-110.
- Conde, C., Ferrer R.M., Gay C., Araujo R. (2004). Impactos del cambio climático en la agricultura en México. En: Martínez J., Fernández A. (Eds.), *Cambio climático: una visión desde México*. INE-SEMARNAT, México. Pp. 227–238.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2010). *Dimensiones de la seguridad Alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto*. México, D.F.

- Conforti P. (2004). Price Transmission in Selected Agricultural Markets Basic, Foodstuffs Service (ESCB), Commodities and Trade Division. FAO, Commodity and Trade Policy Research Working Paper No 7.
- Das, P. (2019). *Econometrics in Theory and Practice Analysis of Cross Section, Time Series and Panel Data with Stata 15.1*. Springer. Singapore.
- Davis, G.C., Espinoza, M.C. (1998). A unified approach to sensitivity analysis in equilibrium displacement models. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 80, no 4, p. 868-879.
- De los Santos-Ramos, D., Romero-Rosales, T., & Bobadilla-Soto, E. E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 439-453.
- Díaz-Padilla G., Guajardo-Panes R.A., Medina-García G., Sánchez-Cohen I., Soria-Ruíz J., Vázquez-Alvarado H.M.P., Quijano-Carranza J.A., Lagorreta-Padilla F., Ruíz-Corral J.A. (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Xalapa, Veracruz, México. P. 139
- Eakin H., Sweeney S., Lerner A.M., Appendini K., Perales H., Steigerwald D.G., Dewes C.F., Davenport F., Bausch J.C. 2018. Agricultural change and resilience: Agricultural policy, climate trends and market integration in the Mexican maize system. *Anthropocene* 23: 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.08.002>
- Fathelrahman, E., Davies, A., Davies, S., & Pritchett, J. (2014). Assessing climate change impacts on water resources and Colorado agriculture using an equilibrium displacement mathematical programming model. *Water*, vol. 6, no. 6, p. 1745-1770.
- FAPRI (Food and Agriculture Organization of the United States Department of Agriculture). (2013). Elasticite Database. <http://www.fapri.iastate.edu/tools/elasticity.aspx>.
- FAO-FAOSTAT (Food Agriculture Organization of the United Nations). (2019). Statical databases. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>
- Galindo, L.M. (2010). *La Economía del Cambio Climático en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Gálvez, A., & Salina, G. (2015). El papel del frijol en la salud nutrimental de la población mexicana. *Revista digital universitaria*. Vol. 16, núm. 2.
- Garay, A. V. A., Sangerman-Jarquín, D. M., Rindermann, R. S., Vargas, G. A., & Barrera, J. L. J. (2011). Determinación de la competitividad del sector agropecuario en México, 1980-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 501-514.
- García-Figueroa, F. (1997). *Un estudio econométrico del mercado de arroz en México*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.

- García, M. R., García S. R. y García S. J.A. (2003) Teoría del mercado de productos agrícolas. Centro de Economía, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- García Salazar, J. A. (1999), "Distribución espacial e intertemporal de la producción de maíz en México". Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- García-Urigüen, P. 2012. La alimentación de los mexicanos, cambios sociales y económicos, y su impacto en los hábitos alimenticios. México: Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA). México.
- García-Vega, J., & Williams, G. W. (1996). The Mexican Livestock, Meat, and Feed Industries: Economic Structure and Government Policy. TAMRC International Market Research. Texas A&M University. Report No. IM-I96.
- Gardner, B. L. (1975). The farm-retail price spread in a competitive food industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 57(3), 399-409.
- GRiSP (Global Rice Science Partnership). (2013). Rice almanac, 4th edition. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 283 p.
- González-Rojas, Karina, García-Salazar, José A., Matus-Gardea, Jaime A., & Martínez-Saldaña, Tomás. (2011). Vulnerabilidad del mercado nacional de maíz (*Zea mays* L.) ante cambios exógenos internacionales. *Agrociencia*, 45(6), 733-744.
- González-Pérez, H., & Martínez-Damián, M. Á. (2015). Efecto de transmisión de precio del mercado del maíz al mercado de la tortilla en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(6), 1149-1162.
- Guzmán-Soria, E., de-la-Garza-Carranza, M.T., García-Salazar, J. A., Rebollar-Rebollar, S. & Hernández-Martínez, J. (2019). Análisis económico del mercado de frijol grano en México. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 131-146
- Harrington, D. H., & Dubman, R. (2008). Equilibrium Displacement Mathematical Programming Models: Methodology and Model of the US Agricultural Sector (No. 1488-2016-124228).
- Hellin, J., Bellon M.R. & Hearne, S.J. (2014). Maize Landraces and Adaptation to Climate Change in Mexico, *Journal of Crop Improvement*, 28(4), 484-501,
- Hernández-Aragón, L., Tavita-Fuentes, L., & Alberto-Cándido, P. (2016). Paquetes tecnológicos para el cultivo de arroz en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México. Folleto Técnico No.87. 85 p.
- Hernández-Cerda, M.E. y Valdez-Madero, G. 2004. Sequía meteorológica. Martínez J., Fernández A. (Eds.). Cambio climático: una visión desde México, INE-SEMARNAT, México, pp. 315-326.
- Hernández-Trujillo, J.M. 2004. Reestructuración productiva a la inversa: el caso de la producción de granos básicos en México. *El Cotidiano*, Vol. 19, Núm. 123, Enero-Febrero, 2004, pp. 30-43.

- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2009). Extractor Rápido de Información Climatológica v. 2.0 (ERIC III). Base de datos y software. Jiutepec, México.
- INECC-IMTA (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2014). Actualización y divulgación de los nuevos escenarios de cambio climático aplicados a México para fortalecer las capacidades nacionales, Informe Técnico Final, Convenio No. INECC/A1-010/2014, Consultores: J.A. Salinas, G. Colorado, M.J. Montero Martínez, M.E. Maya Magaña, M. González Robles, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, 174 pp., México.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y geografía).(2011). Boletín de información oportuna del sector alimentario. México. No. 307 (junio 2011).
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y geografía).(2019). Temas. PIB y cuentas nacionales. Consultado en: <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017). Agenda Tecnológica 2017. Distintos numeros (por estado). Consultado en: https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. United Kingdom y USA.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. México.
- Le T. (2016). Effects of climate change on rice yield and rice market in Vietnam. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 48(4): 366-382. doi:10.1017/aae.2016.21
- Liu, T., Liu, S., & Shi, L. (2020). *Time Series Analysis Using SAS Enterprise Guide*. Springer. Singapore.
- Lobell, D.B., and Field, C.B. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ. Res. Lett.* Vol(2): 4002.
- Magaña, V., Los impactos de El Niño en México. (1999). Secretaria de Gobernación.
- Magaña, V., Méndez, J.M., Morales, R., Millán, C. (2004). Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. Martínez J., Fernández A. (Eds.), *Cambio climático: una visión desde México*, INE-SEMARNAT, México, pp. 215-226.
- Mardero, S., Schmook, B., López-Martínez, J., Cicero, L., Radel, C., & Christman, Z. (2018). The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land* 7(3), 80.
- Martínez, R.M. y Rodríguez, O. E. (2008). Construcción de un indicador frente a la vulnerabilidad que implica el cambio climático. *Coloquio Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, retos de la gestión ambiental local*. México.

- Márquez, B.S., R. Schwentesius, A. Ayala, y A. Kalil. (2006). La globalización y su efecto en la producción agrícola de las zonas áridas y semiáridas de México. *Rev. Chapingo Serie Zonas Áridas* 5:107-116.
- Medina-García, G., Ruiz-Corral, J., Rodríguez-Moreno, V., Soria-Ruiz, J., Díaz-Padilla, G., & Zarazúa Villaseñor, P. (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (13):2465-74. doi.org/10.29312/remexca.v0i13.461.
- Mendelsohn, R., Arellano-Gonzalez, J., & Christensen, P. (2010). A Ricardian analysis of Mexican farms. *Environment and Development Economics*, 15(2): 153-171. doi:10.1017/S1355770X09990143
- Méndez-González, J., Návar-Cháidez, J.D.J., & González-Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones geográficas*, (65), 38-55.
- Murray-Tortarolo, G. N., Jaramillo, V. J., & Larsen, J. (2018). Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and forest meteorology*, 253, 124-131.
- Muth, R. (1964). The Derived Demand Curve for a Productive Factor and the Industry Supply Curve. *Oxford Economic Papers*, 16(2), new series, 221-234.
- Ojeda-Bustamante, W., Flores-Velázquez J., Ontiveros-Capurata, R.E., Iñiguez-Covarrubias M., (2015). Vulnerabilidad de la agricultura de riego mexicana al cambio climático en Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático: efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México.. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. pp. 101-132
- Ortega R. C., & Ochoa B. R. (2003). El frijol mexicano y el nuevo siglo. *Caridad's agropecuarias*, 124, 6-15.
- Palma-Ramos JJ. 2001. El mercado del maíz en México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Paul, R. K. (2011). *Econometric analysis using panel data*. Indian Agricultural Statistics Research, IASRI Library Avenue, New Delhi.
- Park, H. M. (2011). *Practical guides to panel data modeling: a step-by-step analysis using stata*. Public Management and Policy Analysis Program, Graduate School of International Relations, International University of Japan, 1-52.
- Piggott, R. R., Piggott, N. E., & Wright, V. E. (1995). Approximating farm-level returns to incremental advertising expenditure: Methods and an application to the Australian meat industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(3), 497-511.
- Puerco-Ornelas, J. A. & García-Crescencio, A.D. (2017). Del Estado al mercado. La tendencia general de la producción del arroz en México, 1930-2010. *Letras históricas*, (17), 157-183.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., and Travasso M.I. (2014). Food security and food production systems. In: *Climate change 2014:*

Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., and White L.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.

- Prieto-Cornejo, M.R., Matus-Gardea, J.A., Gavi-Reyes, F., Omaña-Silvestre, J.M., Brambila-Paz, J.J., Sánchez-Escudero, J., & Martínez-Damián, M.Á. (2019). Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 173-182.
- Ruiz-Corral, J.A., Ramírez-Díaz, J.L., Flores-Mendoza, F.J., Sánchez-González, J.J. (2000). "Cambio climático y efectos sobre las áreas potenciales para maíz en Jalisco, México". *Revista Fitotecnia Mexicana*. Num. julio-diciembre, pp. 183-193.
- Ruiz-Corral, J.A., Medina-García, G., Ramírez-Díaz, J.L., Flores-López, H.E., Ramírez-Ojeda, G., Manríquez-Olmos, J.D., Zarazúa-Villaseñor, P., González-Eguiarte, D.R., Díaz-Padilla, G., y Mora-Orozco, C. (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe2): 309-323.
- Ruiz-Corral, J.A. (2012). Adaptar la agricultura al cambio climático. *Revista de la academia mexicana de ciencias*. Vol 63. Núm. 4, octubre-diciembre 2012.
- Ruiz-Corral, J. A., Medina-García, G., González-Acuña, I.J., Flores-López, H.E., Ramírez-Ojeda, G., Ortiz-Trejo, C., Byerly-Murphy KF & Martínez-Parra, R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- SAGARPA-FAO (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Food Agriculture Organization of the United Nations). (2012). México: el desafío del cambio climático. México. 425 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. México. 189 p.
- SAGARPA. (2017). Arroz mexicano. En Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. SAGARPA. México.
- Salin, V., Williams, G., Haigh, M., Malaga, J., Madrinan, J. C., & Sheaff, K.(2000). Structure of the Mexican rice industry: implications for strategic planning. Texas Agricultural Market Research Center. US.
- Salinas-Prieto, J.A., Colorado-Ruiz, G., Montero-Martínez, M., Maya-Magaña, M.E., González-Robles, M. (2015). Escenarios de cambio climático para México en Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. pp. 40-69

- Salvador, L. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas Del Desarrollo*, 47(186): 107-132. doi:10.2307/90012697
- SAS (Statistical Analysis System). (2020). SAS, Versión 13.2. Institute Inc, Cary. N.C., USA
- SAS, Institute Inc. (2014). SAS/ETS® 13.2. User`s Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall, W., & Ott, L. (2006). Elementos de muestreo. Editorial Paraninfo.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México) (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014–2018 (PECC). Semarnat. México.
- Semarnat. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México) (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. Semarnat. México.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAVI (Sistema de Información Arancelaria Vía Internet). (2019). Estadísticas Anuales. Consultado en: <http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/partida.php>
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). (2019). Mercados nacionales pecuarios. Anuario estadístico. Granos y semillas. Consultado en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- SMN-CNA (Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua). (2018). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Consultado en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Sumner, D. A., & Wohlgenant, M. K. (1985). Effects of an increase in the federal excise tax on cigarettes. *American Journal of Agricultural Economics*, 67(2): 235-242.
- Sullivan, J., Wainio, J., and Roningen, V. (1989). A database for trade liberalization studies. USDA-ERS. Washington, DC. 152 p.
- Tinoco-Rueda, J.A., Gómez-Díaz, J.D., & Monterroso-Rivas, A.I. (2011). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 29(2): 161-168.
- Tomek, W. G., & Kaiser, H. M. (2014). *Agricultural product prices*. Cornell University Press. Fifth edition. 394
- Torres-Sandoval, C. & García-Salazar, J.A. (2008). Aplicación de un modelo de equilibrio espacial para determinar la estructura del mercado del frijol en México. *Agrociencia*, 42(6): 731-740.

- Ulukan, H. (2008). Agronomic adaptation of some field crops: A general approach. *J. Agron. Crop Sci.*, 194:169-179.
- Und-Anwendung, M. (1999). Utilising Equilibrium-Displacement Models to Evaluate the Market Effects of Countryside Stewardship Policies: Method and Application. *Die Bodenkultur*, Vol. 143, no 50, p. 2.
- Ureta C, Martinez-Meyer E, Perales HR, Alvarez-Buylla ER, 2012. Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology* 18:1073–1082. doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02607.x.
- Ureta, C., González, E.J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., Álvarez-Buylla, E.R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*. Volume 177.
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*; 56 (Sup.1): S92-S98.
- USDA-Foreign Agricultural Service . (2019). Mexico. Gain and feed update. Higher than expected corn production while rice imports lower. Gain Report. Number MX9024. 7/17/2019.
- Varela García, H. (1995). Análisis de la demanda de frijol en México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Vázquez Alvarado, Jorge Miguel Paulino, & Martínez Damián, Miguel Ángel. (2015). Estimación empírica de elasticidades de oferta y demanda. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 955-965.
- Wailes, E.J. & Chavez, E.C. (2011). Updated Arkansas Global Rice Model. No. 1539-2016-132171.
- Walthall, C.L., J. Hatfield, P. Backlund, L. Lengnick, E. Marshall, M. Walsh, S. Adkins, M. Aillery, E.A. Ainsworth, C. Ammann, C.J. Anderson, I. Bartomeus, L.H. Baumgard, F. Booker, B. Bradley, D.M. Blumenthal, J. Bunce, K. Burkey, S.M. Dabney, J.A. Delgado, J. Dukes, A. Funk, K. Garrett, M. Glenn, D.A. Grantz, D. Goodrich, S. Hu, R.C. Izaurralde, R.A.C. Jones, S-H. Kim, A.D.B. Leaky, K. Lewers, T.L. Mader, A. McClung, J. Morgan, D.J. Muth, M. Nearing, D.M. Oosterhuis, D. Ort, C. Parmesan, W.T. Pettigrew, W. Polley, R. Rader, C. Rice, M. Rivington, E. Rosskopf, W.A. Salas, L.E. Sollenberger, R. Srygley, C. Stöckle, E.S. Takle, D. Timlin, J.W. White, R. Winfree, L. Wright-Morton, L.H. Ziska. (2012). *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation*. USDA Technical Bulletin 1935. Washington, DC. 186 pages.
- Wohlgenant, M. K. (1993). Distribution of gains from research and promotion in multistage production systems: The case of the US beef and pork industries. *American Journal of Agricultural Economics*, 75(3), 642-651.
- Wohlgenant, M. K. (2011). Consumer demand and welfare in equilibrium displacement models. *The oxford handbook of the economics of food consumption and policy*, p.0-44.

ANEXOS

ANEXO A

FORMULAS PARA TAMAÑO DE MUESTRA

Formulas tomadas de Scheaffer *et al.*, (2006):

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad \dots(1)$$

$$D = \frac{B^2}{4} \quad \dots(2)$$

$$\sigma = \frac{\text{rango}}{4} \quad \dots(3)$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

B= error de estimación (ton / ha).

N= Tamaño de la población

Rango o amplitud de variación

σ^2 = Varianza de la población y se puede obtener utilizando la ecuación 3

Tamaño de muestra

Cultivo	Ciclo	N	rango	σ	B	n
Maíz	PV	32	9.33	5.44	0.45	25
	OI	27	11.35	8.05	0.6	21
Frijol	PV	32	2.89	0.52	0.2	20
	OI	28	2.82	0.5	0.3	13
Arroz	PV	17	9.25	5.35	0.95	10
	OI	13	9.57	5.72	1.8	5

Estados seleccionados de muestra

Cultivo	Ciclo	Estado
Maíz	PV	Aguascalientes, Campeche, Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Colima, Durango, Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Quintan Roo, Querétaro, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán, Zacatecas
	OI	Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán
Frijol	PV	Aguascalientes, Baja California Sur, Ciudad de México, Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Durango, Guerrero, Guanajuato, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas
	OI	Baja California Sur, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Yucatán
Arroz	PV	Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Tabasco, Veracruz
	OI	Campeche, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Tamaulipas

ANEXO B

ELASTICIDADES, PARTICIPACIONES Y PORCIONES DE MAÍZ

Datos de producto interno bruto (millones de pesos a precios corrientes); cantidad importada y exportada de maíz (ton); precio internacional (\$ ton⁻¹), precio al mayoreo (\$ ton⁻¹) y precio medio rural (\$ ton⁻¹).

Año	PIB*	QIMMA [†]	QEXMA [†]	PMERMA [‡]	PMAYRMA [§]	PINRMA [†]
1998	13211704	5211863	231204	3971	22046	2559
1999	13519278	5545811	17749	3427	22065	2032
2000	14402641	5347619	5989	3243	21698	1801
2001	14300402	6174028	11233	2935	22015	1694
2002	14359029	5512911	164430	2890	22685	1846
2003	14496013	5764149	14413	2981	21604	2094
2004	15535361	5518690	7057	2954	21341	2220
2005	16182128	5743678	53040	2670	20593	1820
2006	17359846	7609940	183787	3283	24484	2169
2007	18068873	7954729	264224	3836	31694	2809
2008	18457614	9145987	58673	4209	33996	3710
2009	17257909	7260619	289296	3976	29004	3174
2010	18208841	7848998	558617	3837	30300	3200
2011	19320404	9476171	101019	5372	40128	4774
2012	20015349	9515074	772906	5074	46389	4973
2013	19841459	7153033	582661	4103	41999	4038
2014	20489509	10407011	405772	3652	37474	3005
2015	21187839	12145301	745710	3905	31365	3069
2016	22333874	14105991	1672618	3917	30710	3296
2017	22950180	15338712	1658800	3777	31178	3060

Fuente: FAO-FAOSTAT (2019) [†], SIAP (2019) [‡], SNIIM (2019) [§], INEGI (2020)*.

Modelo:

$$LQIMMA = a_0 + a_1LPIB + a_2LPINRMA + a_3LPMERMA$$

$$QEXMA = b_0 + b_1PINRMA_{t-1} + b_2PINRMA_{t-4} + b_3PMAYRMA_{t-1} + b_4QEXMA_{t-1}$$

LQIMMA=Logaritmo natural de la cantidad importada de maíz

LPIB=Logaritmo natural de producto interno bruto

LPINRMA=Logaritmo natural del precio internacional real de maíz

LPMERMA=Logaritmo natural del precio medio rural real de maíz

QEXMA=Cantidad exportada de maíz (ton)

PMAYMA_{t-1}=Precio al mayoreo real de maíz rezagado un periodo (\$/ton)

PINRMA_{t-1}=Precio internacional real de maíz rezagado un periodo (\$/ton)

PINRMA_{t-4}=Precio internacional real de maíz rezagado cuatro periodos (\$/ton)

LQIMMA_{t-1}=Logaritmo de la cantidad importada de maíz rezagada un periodo

QEXMA_{t-1}=Cantidad exportada de maíz rezagada un periodo (ton)

Procedimiento AUTOREG
Variable dependiente: **LQIMMA**

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	0.15943704	DFE	16
MSE	0.00996	Raíz MSE	0.09982
SBC	-27.896299	AIC	-31.879228
MAE	0.07150469	AICC	-29.212561
MAPE	0.45183184	HQC	-31.101718
R-cuadrado total			0.9241

Prueba de cointegración de Engle-Granger

Tipo	Retardos	Tau	Pr < Tau
Media simple	1	-2.8112	0.4482
	2	-3.3279	0.2681
Tendencia	1	-2.9722	0.5276
	2	-3.3403	0.3940

Estimaciones de parámetro

Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Intercept	1	-25.1689	4.0170	-6.27	<.0001
LPIB	1	2.2636	0.2199	10.29	<.0001
LPINRMA	1	-0.8747	0.2649	-3.30	0.0045
LPMERMA	1	1.2457	0.3911	3.19	0.0058

Procedimiento AUTOREG
Variable dependiente: **QEXMA**

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	5.17331E11	DFE	11
MSE	4.70301E10	Raíz MSE	216864
SBC	446.458749	AIC	442.595805
MAE	124895.767	AICC	448.595805
MAPE	179.909912	HQC	442.79362
R-cuadrado total			0.8769

Prueba de cointegración de Engle-Granger			
Tipo	Retardos	Tau	Pr < Tau
Media simple	1	-3.0371	0.4903
	2	-2.0966	0.8262
Tendencia	1	-3.7587	0.3458
	2	-2.2254	0.9071

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Intercept	1	-121156	241985	-0.50	0.6265
PINRMA1	1	431.6794	167.6485	2.57	0.0258
PINRMA4	1	394.5239	78.7437	5.01	0.0004
PMAYRMA1	1	-64.5331	22.5506	-2.86	0.0155
QEXMA1	1	0.4125	0.1695	2.43	0.0332

Procedimiento MEANS		
Variable	N	Media
QEXMA	20	389959.90
PINRMA	20	2867.15
PINRMA1	19	2857.00
PMAYRMA	20	29138.40
PMAYRMA1	19	29031.05

Porciones totales de la producción (κ_{QM_o}), importación ($\kappa_{QM_{Im}}$), y exportación ($\kappa_{QM_{Ex}}$) sobre la demanda de maíz.

Año	Demanda Nacional (ton)	Producción Nacional (ton)	Importación (ton)	Exportación (ton)
2014	33274496	23273257	10407011	405772
2015	36093637	24694046	12145301	745710
2016	40684156	28250783	14105991	1672618
2017	41237184	27557272	15338712	1658800
2018	43412149	27169400	17095140	852392
Promedio	38940324	26188952	13818431	1067058
κ		3.37	1.76	0.13

Fuente: FAOSTAT-FAO (2019)

Participación la producción de maíz de PV (τ_{MPV}) y OI (τ_{MPV}) sobre la producción total.

Año	Producción Nacional (ton)	Producción de PV (ton)	Producción OI (ton)
2014	23273257	17957216	5316040
2015	24694046	17344924	7349122
2016	28250783	19716658	8534126
2017	27762481	19877608	7884873
2018	27169400	19237482	7931919
Total	131149967	94133888	37016079
τ		0.72	0.28

Fuente: FAOSTAT-FAO (2019)

ANEXO C

ELASTICIDADES, PARTICIPACIONES Y PORCIONES DE FRIJOL

Datos de área sembrada de frijol (ha) y precio medio rural (\$), 1980-2018.

Año	ASFR	PMERFR	Año	ASFR	PMERFR	Año	ASFR	PMERFR
1980	1960044	25019	1994	2344054	13235	2007	1626022	13688
1981	2395727	22611	1995	2342804	11280	2008	1676682	17083
1982	2468804	17429	1996	2195877	16380	2009	1887177	11971
1983	2195811	13259	1997	2319557	17419	2010	1506034	15986
1984	2014277	12931	1998	2376269	16592	2011	1700514	16137
1985	2063577	25480	1999	2405873	12379	2012	1831309	12082
1986	2321053	19989	1999	2120693	11239	2013	1773997	10206
1987	2316346	18604	2000	1952522	12638	2014	1678939	11147
1988	2334621	13687	2001	2228107	11035	2015	1632150	13525
1989	1724425	14316	2002	2040425	9353	2016	1676230	14473
1990	2271619	23038	2003	1822605	10078	2017	1675192	11178
1991	2187704	19298	2004	1746020	11681	2018	2120693	11239
1992	1845166	18531	2005	1809680	10290			
1993	2106020	16090	2006	1688477	10970			

Fuente: SIAP (2019) ‡.

Modelo:

$$LASFR = a_0 + a_1 LASFR_{t-1} + a_2 LPMERFR_{t-1}$$

LASFR=Logaritmo de la superficie cultivada de frijol.

LASFR_{t-1}=Logaritmo de la superficie cultivada de frijol rezagada un periodo.

LPMERFR_{t-1}=Logaritmo del precio medio rural de frijol rezagado un periodo.

Procedimiento AUTOREG			
Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	0.27864883	DFE	35
MSE	0.00796	Raíz MSE	0.08923
SBC	-68.032699	AIC	-72.945458
MAE	0.06072752	AICC	-72.239575
MAPE	0.41881822	HQC	-71.197536
		R-cuadrado total	0.6408

Estadísticos variados			
Estadístico	Valor	Prob	Etiqueta
Prueba normal	3.1643	0.2055	Pr > ChiSq

Estadísticos Durbin-Watson			
Orden	DW	Pr < DW	Pr > DW
1	2.0316	0.4514	0.5486
2	2.0351	0.5640	0.4360

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Interceptó	1	11.6752	0.5323	21.93	<.0001
LASFR1	1	0.000000287	5.4483E-8	5.26	<.0001
LPMERFR1	1	0.2347	0.0578	4.06	0.0003

Datos de producto interno bruto (millones de pesos a precios corrientes); cantidad importada de frijol (ton); precio internacional (\$ ton⁻¹) y precio medio rural (\$ ton⁻¹).

Año	PIB*	QIMFR [†]	PINRFR [†]	PMERRFR [‡]	Año	PIB*	QIMFR [†]	PINRFR [†]	PMERRFR [‡]
1980	7613380	444306	14097	25019	1999	13519278	128028	8852	12379
1981	8173734	482126	8812	22611	2000	14402641	87661	8555	11239
1982	8181963	250044	18865	17429	2001	14300402	126692	6446	12638
1983	7388702	145848	19106	13259	2002	14359029	106310	5550	11035
1984	7316528	119125	18123	12931	2003	14496013	83685	6300	9353
1985	7434712	178921	15882	25480	2004	15535361	62190	6103	10078
1986	6630889	178951	16593	19989	2005	16182128	79032	8206	11681
1987	6954846	39470	16991	18604	2006	17359846	131727	12133	10290
1988	6633115	41612	15554	13687	2007	18068873	91712	10765	10970
1989	7284035	110370	13796	14316	2008	18457614	95038	10983	13688
1990	7738394	330471	11218	23038	2009	17257909	174822	16395	17083
1991	8113982	30080	8988	19298	2010	18208841	117470	19086	11971
1992	8352261	2909	9125	18531	2011	19320404	104897	14727	15986
1993	11627555	7571	6783	16090	2012	20015349	235687	12560	16137
1994	12412514	57510	8613	13235	2013	19841459	134494	11734	12082
1995	11930195	26062	15100	11280	2014	20489509	82206	13983	10206
1996	11995749	130780	11318	16380	2015	21187839	88543	19631	11147
1997	12617240	90161	8153	17419	2016	22333874	163791	24292	13525
1998	13211704	202005	8261	16592	2017	22950180	151215	17182	14473

Fuente: FAO-FAOSTAT (2019)[†], SIAP (2019)[‡], INEGI (2020)*.

Datos de producto interno bruto (millones de pesos a precios corrientes); cantidad exportada de maíz (ton); precio internacional (\$ ton⁻¹), precio al mayoreo (\$ ton⁻¹).

Y	QEXFR	PINRFR	PMAYRFR	Y	QEXFR	PINRFR	PMAYRFR
1998	5688	8261	23122	2008	22944	10983	21150
1999	8446	8852	17004	2009	20348	16395	24642
2000	7091	8555	15646	2010	30253	19086	18618
2001	3359	6446	22628	2011	37593	14727	18112
2002	11673	5550	20281	2012	16879	12560	29812
2003	15946	6300	15001	2013	32908	11734	23020
2004	17902	6103	15756	2014	65051	13983	15200
2005	22359	8206	15973	2015	36800	19631	18157
2006	12530	12133	16778	2016	32892	24292	25315
2007	18352	10765	15466	2017	74544	17182	24454

Fuente: FAO-FAOSTAT (2019) †, SIAP (2019) ‡, SNIIM (2019) §, INEGI (2020)*.

Modelo

$$LQIMFR = a_0 + a_1LPIB + a_2LPINRFR + LPMERRFR + LQIMFR_{t-1} + LQIMFR_{t-2}$$

$$LQEXFR = b_0 + b_1LPINRFR + b_2LPMAYRFR_{t-4} + b_3LPMAYRRFR + b_4LPMAYRFR_{t-1} + b_4LPQEXFR_{t-1}$$

LQIMFR=Logaritmo natural de la cantidad importada de frijol

LQEXFR=Logaritmo natural de la cantidad exportada de frijol

LPIB=Logaritmo natural del ingreso nacional (PIB)

LPINRFR=Logaritmo natural del precio internacional real del frijol

LPMERRFR=Logaritmo natural del precio de medio rural real del frijol

LPMAYRFR=Logaritmo natural del precio de mayoreo real del frijol

LQIMFR_{t-1}=Logaritmo natural de la cantidad importada de frijol rezagado un periodo

LQIMFR_{t-2}=Logaritmo natural de la cantidad importada de frijol rezagado dos periodos

LQEXFR_{t-1}=Logaritmo natural de la cantidad exportada de frijol rezagado un periodo

LPMERRFR_{t-3}=Logaritmo natural del precio de medio rural real del frijol rezagado tres periodos

LPMAYRFR_{t-1}=Logaritmo natural del precio de mayoreo real del frijol rezagado un periodo

Procedimiento AUTOREG
Variable dependiente: **LQIMFR**

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	7.49966248	DFE	20
MSE	0.37498	Raíz MSE	0.61236
SBC	61.0091814	AIC	53.4606022
MAE	0.42586342	AICC	57.8816548
MAPE	3.88563052	HQC	55.6343199
R-cuadrado total			0.6751

Prueba de cointegración de Engle-Granger			
Tipo	Retardos	Tau	Pr < Tau
Media simple	1	-3.7861	0.3301
	2	-2.1451	0.9259
Tendencia	1	-4.7106	0.0981
	2	-3.0561	0.7044

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Interceptó	1	-43.7831	14.1292	-3.10	0.0057
LPIB	1	2.9260	0.7897	3.71	0.0014
LPINRFR	1	-0.8271	0.4269	-1.94	0.0669
LPMERRFR	1	1.2576	0.7323	1.72	0.1014
LQIMFR1	1	0.5696	0.1737	3.28	0.0038
LQIMFR2	1	-0.3577	0.1485	-2.41	0.0258

Procedimiento AUTOREG
Variable dependiente: **LQEXFR**

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	1.2136651	DFE	11
MSE	0.11033	Raíz MSE	0.33216
SBC	20.3705248	AIC	15.3712447
MAE	0.22880988	AICC	23.7712447
MAPE	2.35903898	HQC	15.868183
R-cuadrado total			0.8509

Prueba de cointegración de Engle-Granger			
Tipo	Retardos	Tau	Pr < Tau
Media simple	1	-2.6869	0.7292
	2	-2.4322	0.8217
Tendencia	1	-4.3783	0.2183
	2	-3.3225	0.6064

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Interceptó	1	-6.4116	7.5816	-0.85	0.4157
LPINRFR2	1	1.0153	0.4599	2.21	0.0494
LPINRFR3	1	-0.9649	0.5824	-1.66	0.1258
LPMAYRFR	1	-1.3931	0.6185	-2.25	0.0457
LPMAYRFR1	1	2.2727	0.6958	3.27	0.0075
LQEXFR1	1	0.7369	0.1845	3.99	0.0021

Porciones totales de la producción (κ_{QF_o}), importación ($\kappa_{QF_{Im}}$), y exportación ($\kappa_{QF_{Ex}}$) sobre la demanda de frijol.

Año	Demanda Nacional (ton)	Producción Nacional (ton)	Importación (ton)	Exportación (ton)
2014	1291112	1273957	82206	65051
2015	1020889	969146	88543	36800
2016	1219666	1088767	163791	32892
2017	1260540	1183868	151215	74544
2018	1310868	1196156	166029	51317
Promedio	1249882	1167755	131046	48919
κ		4.68	0.53	0.21

Fuente: FAOSTAT-FAO (2019).

Participación la producción de frijol de PV (τ_{FPV}) y OI (τ_{FOI}) sobre la producción total.

Año	Producción Nacional (ton)	Producción de PV (ton)	Producción OI (ton)
2014	1273957	978610	295348
2015	969146	775886	193261
2016	1088767	872334	216433
2017	1183868	880952	302917
2018	1196156	859033	337124
Total	5711895	4366813	1345082
τ		0.7645	0.2355

Fuente: FAOSTAT-FAO (2019).

ANEXO D

ELASTICIDADES, PARTICIPACIONES Y PORCIONES DE ARROZ

Datos de producto interno bruto (millones de pesos a precios corrientes); cantidad importada y exportada de arroz (ton); precio internacional (\$ ton⁻¹), precio al mayoreo (\$ ton⁻¹) y precio medio rural (\$ ton⁻¹).

Año	PIB*	QIMAR [†]	QEXAR [†]	PINRAR [†]	PMERAR [‡]	PMAYRAR [§]
1998	13211704	291525	7468	5933	4506	15549
1999	13519278	404791	8726	4605	4183	13356
2000	14402641	425581	319	3217	3157	12073
2001	14300402	461815	1118	2713	2996	10795
2002	14359029	477287	726	3024	3157	9952
2003	14496013	502386	497	3311	3061	10321
2004	15535361	459187	1826	4349	3197	13546
2005	16182128	490281	2726	4455	3221	13163
2006	17359846	538916	2662	4420	3113	12363.
2007	18068873	558333	14226	4968	3261	12398
2008	18457614	547267	10525	8020	5418	19028
2009	17257909	563036	7314	7520	4884	20027
2010	18208841	572092	5500	7197	4327	16727
2011	19320404	666830	1843	8064	4963	16239
2012	20015349	604361	1589	8351	4777	17331
2013	19841459	673877	1682	6951	4771	18628
2014	20489509	657165	1859	6306	4650	17866
2015	21187839	640812	2023	6692	4098	17165
2016	22333874	671532	9067	7743	4262	16366
2017	22950180	868592	88360	7445	4310	16497

Fuente: FAO-FAOSTAT (2019) [†], SIAP (2019) [‡], SNIIM (2019) [§], INEGI (2020)*.

Modelo:

$$LQIMAR = a_0 + a_1LPIB + a_2LPINRAR + a_3LPMERAR$$

$$LQEXAR = b_0 + b_1LPINRAR + b_2LPMAYRAR_{t-4}$$

LQIMAR=Logaritmo de la cantidad importada de frijol

LQEXAR=Logaritmo de la cantidad exportada de frijol

LPIB=Logaritmo del ingreso nacional (PIB)

LPMERAR=Logaritmo del precio medio rural real del frijol

LPINRAR=Logaritmo del precio internacional real de frijol

LPMARAR_{t-4}=Logaritmo del precio real del frijol rezagado cuatro periodos

Procedimiento AUTOREG
Variable dependiente: **LQIMAR**

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	0.11281055	DFE	16
MSE	0.00705	Raíz MSE	0.08397
SBC	-34.815083	AIC	-38.798012
MAE	0.06091759	AICC	-36.131345
MAPE	0.46183159	HQC	-38.020502
R-cuadrado total			0.8930

Prueba de cointegración de Engle-Granger

Tipo	Retardos	Tau	Pr < Tau
Media simple	1	-2.2716	0.6363
	2	-3.1654	0.3247
Tendencia	1	-2.2101	0.8043
	2	-2.6984	0.6270

Estimaciones de parámetro

Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Interceptó	1	-14.6228	3.3898	-4.31	0.0005
LPIB	1	1.7203	0.1990	8.64	<.0001
LPINRAR	1	-0.4147	0.1782	-2.33	0.0334
LPMERAR	1	0.3279	0.2515	1.30	0.2108

Procedimiento AUTOREG
Variable dependiente: **LQEXAR**

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	4.60741554	DFE	11
MSE	0.41886	Raíz MSE	0.64719
SBC	32.0879874	AIC	30.1708154
MAE	0.42357237	AICC	32.5708154
MAPE	5.36539903	HQC	29.9933461
R-cuadrado total			0.6059

Estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios			
SSE	4.60741554	DFE	11
MSE	0.41886	Raíz MSE	0.64719
SBC	32.0879874	AIC	30.1708154
MAE	0.42357237	AICC	32.5708154
MAPE	5.36539903	HQC	29.9933461
R-cuadrado total			0.6059

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación	Error estándar	t valor	Aprox. Pr > t
Interceptó	1	17.9251	8.1258	2.21	0.0496
LPINRAR	1	1.9486	0.5599	3.48	0.0051
LPMAYRAR4	1	-2.8272	0.8758	-3.23	0.0080

Datos de precio internacional (\$ ton⁻¹), precio al mayoreo (\$ ton⁻¹) y precio medio rural (\$ ton⁻¹) de arroz.

Y	PMERRAR‡	PMAYRAR§	PINRAR†	Y	PMERRAR‡	PMAYRAR§	PINRAR†
1998	4.51	15.55	5.93	2008	5.42	19.03	8.02
1999	4.18	13.36	4.61	2009	4.88	20.03	7.52
2000	3.16	12.07	3.22	2010	4.33	16.73	7.20
2001	3.00	10.79	2.71	2011	4.96	16.24	8.06
2002	3.16	9.95	3.02	2012	4.78	17.33	8.35
2003	3.06	10.32	3.31	2013	4.77	18.63	6.95
2004	3.20	13.55	4.35	2014	4.65	17.87	6.31
2005	3.22	13.16	4.46	2015	4.10	17.16	6.69
2006	3.11	12.36	4.42	2016	4.26	16.37	7.74
2007	3.26	12.40	4.97	2017	4.31	16.50	7.44

Fuente: FAO-FAOSTAT (2019) †, SIAP (2019) ‡, SNIIM (2019) §.

Modelo:

$$LPMERRAR = b_0 + b_1 LPMAYRAR$$

$$LPMAYRAR = a_0 + a_1 LPINRAR$$

LPMERRAR=Logaritmo del precio medio rural real del arroz

LPMAYRAR=Logaritmo del precio al mayoreo real del arroz

LPINRAR=Logaritmo del precio internacional real del arroz

Procedimiento MODEL

No lineal OLS Resumen de errores de residual								
Ecuación	Modelo	DF	Error DF	SSE	MSE	Raíz MSE	R-cuadrado	Adj R-cua
LPMERRAR	2		18	0.1311	0.00728	0.0853	0.8277	0.8181
LPMAYRAR	2		18	0.1186	0.00659	0.0812	0.8621	0.8544

No lineal OLS Parámetro Estimación				
Parámetro	Estimación	Error std aprox	t valor	Aprox. Pr > t
b0	-0.92571	0.2478	-3.74	0.0015
b1	0.85551	0.0920	9.30	<.0001
a0	1.77202	0.0880	20.14	<.0001
a1	0.539496	0.0509	10.61	<.0001

Prueba de heterocedasticidad					
Ecuación	Prueba	Estadístico	DF	Pr > ChiSq	Variables
LPMERRAR	Prueba de White	2.49	2	0.2880	Cruce de todas las variables
LPMAYRAR	Prueba de White	0.89	2	0.6417	Cruce de todas las variables

Prueba de normalidad			
Ecuación	Estadístico de Prueba	Valor	Prob
LPMERRAR	Shapiro-Wilk W	0.96	0.4538
LPMAYRAR	Shapiro-Wilk W	0.95	0.3922
Sistema	Asimetría de Mard	0.64	0.9586
	Curtosis de Mardia	-1.64	0.1018
	Henze-Zirkler T	0.50	0.2579

Porciones totales de la producción (κ_{QA_0}), importación ($\kappa_{QA_{Im}}$), y exportación ($\kappa_{QA_{Ex}}$) sobre la demanda de arroz.

Año	Demanda Nacional (ton)	Producción Nacional (ton)	Importación (ton)	Exportación (ton)
2009	1061186	263028	902686	104415
2010	998073	216676	922895	141498
2011	1183310	173461	1012249	2725
2012	1009759	178787	962427	131579
2013	1193499	179776	1016214	2491
κ		0.939	4.435	0.375

Fuente: FAOSTAT-FAO (2019).

Participación la producción de arroz de PV (τ_{APV}) y OI (τ_{APV}) sobre la producción total.

Año	Producción Nacional (ton)	Producción de PV (ton)	Producción de OI (ton)
2014	232159	179247	52912
2015	236018	146937	89081
2016	254043	168805	85238
2017	265567	180330	85237
2018	283763	185911	97852
Total	1271551	861230	410321
τ		0.68	0.32

Fuente: FAOSTAT-FAO (2019).