

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS

ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

**Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y
de los Recursos Naturales.**

**ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES Y RIESGOS DE
LOS CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE
LOS RECURSOS NATURALES**

Presenta:

DORA ELOISA DOMINGUEZ LOPEZ

Bajo la supervisión de:

DR. ADRIÁN GONZÁLEZ ESTRADA



Chapingo, Estado de México, septiembre de 2025



ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES Y RIESGOS DE LOS CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO

Tesis realizada por **DORA ELOISA DOMINGUEZ LOPEZ**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

Adrián González Estrada

DIRECTOR:

Dr. ADRIÁN GONZÁLEZ ESTRADA

ASESOR:

Dr. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR:

Dra. DIANA AMÉRICA REYNA IZAGUIRRE

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1	Planteamiento del problema	2
1.2	Antecedentes	3
1.3	Justificación	5
1.4	Objetivos	6
1.4.1	Objetivo general	6
1.4.2	Objetivos específicos	6
1.5	Hipótesis	7
1.6	Presentación del documento	7
1.7	Referencias bibliográficas	8
2	REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1	Granos básicos de México: maíz, frijol, trigo y arroz	11
2.1.1	Definición y características de los granos básicos	11
2.1.2	Relevancia económica y seguridad alimentaria	12
2.2	Fluctuaciones y riesgos en la producción de los cultivos básicos en México	14
2.2.1	Evidencia de volatilidad en la producción y precios agrícolas	14
2.2.2	Teorías económicas	15
2.2.3	Ciclos económicos y volatilidad de mercados	18
2.2.4	Factores de riesgos y volatilidad en la producción agrícola	19
2.2.5	Factores climáticos y ambientales	19
2.2.6	Factores económicos y de mercado	19
2.2.7	Factores políticos e institucionales	20
2.2.8	Factores tecnológicos y estructurales	21
2.3	Análisis estadístico de las fluctuaciones	21
2.3.1	Series de tiempo	22
2.3.2	Filtro Hodrick-Prescott	22
2.3.3	Identificación de ciclos (Harding y Pagan)	23

2.3.4	Medición de variabilidad y covariabilidad	24
2.3.5	Análisis de cambios de fase	24
2.3.6	Pruebas de estacionariedad	25
2.3.7	Prueba de Breusch-Godfrey	30
2.4	Análisis estadístico de cointegración	31
2.4.1	Análisis de raíz unitaria y estacionariedad	31
2.4.2	Cointegración Johansen	32
2.4.3	Modelo vectorial de corrección de errores (VECM).....	32
2.5	Referencias bibliográficas	32
3	FLUCTUACIONES Y RIESGOS DE LOS CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO.....	38
3.1	Resumen	38
3.2	Introducción	39
3.3	Materiales y métodos.....	40
3.4	Resultados y discusión	44
3.5	Conclusiones	49
3.6	Referencias bibliográficas.....	50
4	COINTEGRACIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA DE LOS CULTIVOS BÁSICOS DE MÉXICO	53
4.1	Resumen	53
4.2	Introducción	54
4.3	Discusión teórica	56
4.4	Metodología	58
4.5	Resultados.....	61
4.6	Discusión	67
4.7	Conclusiones	69
4.8	Literatura citada	70
5	CONCLUSIONES GENERALES	74
5.1	Referencias bibliográficas.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadísticas básicas del ciclo del valor de producción de los cultivos básicos de México de valle a valle.....	46
Cuadro 2. Estadísticas básicas del ciclo del valor de producción de los cultivos básicos de México de cúspide a cúspide.....	46
Cuadro 3. Matriz de correlación cruzada del componente cíclico (Cc) del PIB agrícola y del componente cíclico del valor de producción de los cultivos básicos (VPCB).....	48
Cuadro 4. Prueba Breusch-Godfrey de contrastes.....	49
Cuadro 1. Prueba de raíces unitarias ADF y PP en nivel.	61
Cuadro 2. Prueba de raíces unitarias ADF y PP en primeras diferencias..	61
Cuadro 3. Prueba de longitud de rezago para el modelo VAR de la oferta.	62
Cuadro 4. Prueba de longitud de rezago para el modelo VAR de la demanda.	62
Cuadro 5. Prueba Traza, análisis de cointegración de la oferta.	63
Cuadro 6. Prueba de la raíz característica máxima y análisis de cointegración de la oferta.	64
Cuadro 7. Prueba de la traza y análisis de cointegración de la demanda.	64
Cuadro 8. Prueba de Eigenvalor Máximo, análisis de cointegración de la demanda.	65
Cuadro 9. Modelo de vector de corrección de errores normalizados de la oferta.....	66
Cuadro 10. Modelo de vector de corrección de errores normalizados de la demanda.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valor de producción de los cultivos básicos y su componente de crecimiento.....	44
Figura 2. Depresiones y auges, contracciones y recuperaciones del valor de producción de los cultivos básicos de México.....	45
Figura 3. Recuperaciones, auges, recesiones y depresiones del valor de producción de los cultivos básicos de México.	47

DEDICATORIAS

A mi madre, por ser mi guía y mi fortaleza; por su amor incondicional, sus silenciosos sacrificios y su confianza absoluta en cada uno de mis pasos.

A mis hermanas, por acompañarme con cariño, por su apoyo constante y por recordarme siempre el valor de la unión familiar.

A mi pareja, por su paciencia, su comprensión y por caminar a mi lado, incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos, por su compañía sincera, las risas compartidas y por estar presentes en el mismo camino.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el apoyo económico recibido a través de su programa de becas.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y por el respaldo institucional durante mis estudios de posgrado.

Expreso mi sincero reconocimiento a mis profesores, especialmente a mi director de tesis, el Dr. Adrián González Estrada, por su guía académica, su tiempo y sus observaciones; su asesoría y apoyo han sido fundamentales para la culminación de mi investigación de tesis de Maestría en Ciencias.

Agradezco, desde lo más profundo de mi corazón, a mi madre y hermanas por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi desarrollo personal. A mi pareja, por caminar a mi lado con paciencia, afecto y constante aliento. A mis amigos, por las palabras de ánimo.

A todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso: gracias por su generosidad, confianza y compañía.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Dora Eloisa Dominguez Lopez

Fecha de nacimiento: 5 de junio de 1996.

Lugar de nacimiento: Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

CURP: DOLD960605MOCPMPR04

Profesión: Ingeniero en Mecánica Agrícola

Cédula profesional: 12596649

Desarrollo académico

Preparatoria: Periodo 2011-2014, Universidad Autónoma Chapingo.

Licenciatura: Periodo 2014-2018, Ingeniería Mecánica Agrícola.

RESUMEN GENERAL

ANÁLISIS DE LAS FLUCTUACIONES Y RIESGOS DE LOS CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO

La producción de los cultivos básicos de México (maíz, frijol, trigo y arroz) ha enfrentado notables fluctuaciones durante las últimas décadas, derivadas de los factores climáticos, económicos y políticos. Esta volatilidad compromete la seguridad alimentaria y afecta el ingreso de millones de productores rurales. El objetivo de esta investigación fue analizar empíricamente las fluctuaciones cíclicas, los riesgos productivos y las relaciones estructurales de oferta y demanda de estos cultivos entre 1993-2022.

Se utilizaron herramientas econométricas de análisis de series de tiempo, como el filtro Hodrick-Prescott, el modelo de Harding y Pagan, pruebas de estacionariedad, y el enfoque de cointegración Johansen. Además, se estimaron modelos vectoriales de corrección de errores (VECM) para identificar relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables económicas, climáticas y demográficas que determinan la producción agrícola nacional.

El análisis estadístico confirmó que las fluctuaciones de los cultivos básicos son aleatorias, estructurales y cíclicas, ligadas al desempeño macroeconómico y a los efectos del cambio climático. Esto incrementa los riesgos para las actividades productivas y de abastecimiento. Se recomienda implementar políticas eficientes de gestión del riesgo, como seguros agropecuarios, cobertura de precios y mecanismos contracíclicos. Las evidencias empíricas obtenidas con esta investigación aportan herramientas útiles para fortalecer la seguridad alimentaria y la estabilidad del sector agrícola mexicano.

Palabras clave: volatilidad agrícola, riesgos productivos, filtro Hodrick-Prescott, cointegración.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Dora Eloisa Dominguez Lopez.

Director: Dr. Adrián González Estrada.

ABSTRACT

Analysis of the Fluctuations and Risks of Basic Crops in Mexico

The production of Mexico's basic crops (maize, beans, wheat, and rice) has experienced significant fluctuations over recent decades, driven by climatic, economic, and political factors. This volatility compromises food security and affects the income of millions of rural producers. The objective of this research was to empirically analyze the cyclical fluctuations, production risks, and structural supply and demand relationships of these crops between 1993 and 2022.

Econometric tools for time series analysis were applied, including the Hodrick-Prescott filter, the Harding and Pagan cycle model, stationarity tests, and the Johansen cointegration approach. In addition, vector error correction models (VECM) were estimated to identify long-term equilibrium relationships among the economic, climatic, and demographic variables that influence national agricultural production.

The statistical analysis confirmed that fluctuations in basic crops are random, structural, and cyclical in nature, and closely linked to macroeconomic performance and the effects of climate change. These dynamics increase the risks to productive and supply activities. It is recommended to implement effective risk management policies, such as agricultural insurance, price hedging, and countercyclical mechanisms. The empirical evidence generated by this research provides useful tools to strengthen food security and the stability of Mexico's agricultural sector.

Keywords: agricultural volatility, production risks, Hodrick-Prescott filter, cointegration.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los constantes cambios económicos en los mercados agrícolas han generado preocupación a nivel global por sus efectos adversos sobre la seguridad alimentaria. Aunque ciertas fluctuaciones en los precios y en la producción son inherentes a los mercados, niveles excesivos de variabilidad pueden distorsionar las señales del mercado y perjudicar a productores y consumidores (FAO, 2020). Algunos organismos como la FAO y la CEPAL advierten que esta volatilidad ha aumentado en los últimos años y probablemente se mantendrá elevada, debido a factores climáticos, a la interdependencia de los mercados y la inestabilidad geopolítica global (CEPAL, 2022).

México enfrenta el reto de asegurar un abasto estable de los cultivos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz), los cuales son esenciales para el consumo de la población y para el sustento de más de tres millones de pequeños productores. Estos cultivos ocupan más del 70% de la superficie agrícola sembrada del país y forman parte de la base alimentaria de los sectores más vulnerables (Granados *et al.*, 2020). Sin embargo, la producción nacional ha presentado una alta sensibilidad a las perturbaciones ambientales (sequías, heladas, inundaciones, etc.), a lo cual se suman los impactos externos vinculados a los tratados comerciales desde los años noventa. La entrada en vigor del TLCAN en 1994 profundizó la integración del mercado agrícola mexicano con el de EE.UU. y Canadá e incrementó su exposición a la volatilidad de precios globales (González *et al.*, 2013). Estudios recientes confirman relaciones de causalidad bidireccional entre los precios globales y los nacionales de granos, lo cual evidencia una integración estructural del sistema agroalimentario mexicano al contexto internacional (Granados *et al.*, 2020).

Los expertos enfatizan que esta varianza inherente a la producción agropecuaria constituye una fuente crítica de riesgos que deben ser gestionados mediante estrategias públicas eficientes (González *et al.*, 2013). Por ello, comprender las fluctuaciones productivas, su magnitud, sus determinantes y sus efectos

macroeconómicos, es fundamental para formular políticas que garanticen la estabilidad alimentaria del país y la resiliencia de sus sistemas agrícolas.

Frente a esta problemática, la presente investigación integró dos enfoques complementarios. El análisis de las fluctuaciones productivas y de los ciclos económicos para identificar los periodos de expansión, contracción y recuperación en la producción de los cultivos básicos. También se aplicaron modelos de cointegración para estudiar las relaciones estructurales de largo plazo entre la oferta, la demanda y la producción agrícola, considerando variables económicas, demográficas y climáticas.

Los objetivos de esta investigación fueron: a) generar evidencias empíricas que permitan comprender el comportamiento de los cultivos básicos en México y b) ofrecer recomendaciones prácticas para mitigar los riesgos que afectan tanto a la seguridad alimentaria como a la economía agrícola. Al integrar el análisis de volatilidad, ciclos y cointegración, el estudio ofrece una perspectiva integral del desempeño estructural del sector agrícola del país.

1.1 Planteamiento del problema

En México, la producción de Maíz, frijol, trigo y arroz ha experimentado gran volatilidad a lo largo de las últimas décadas, evidenciando fluctuaciones significativas que afectan tanto a la estabilidad del ingreso de los productores como a la seguridad alimentaria de la población. Este comportamiento se debe a la interacción de factores económicos, políticos y climáticos, que aumentan los riesgos inherentes a la actividad agrícola.

Se ha observado que las fluctuaciones parecen estar estrechamente relacionadas con los ciclos económicos nacionales: en los periodos de expansión económica la producción tiende a incrementar por encima de su tendencia; mientras que, en la fase de desaceleración, la oferta muestra una caída. Sin embargo, esta relación no ha sido estudiada ni cuantificada desde una perspectiva sistémica y de largo plazo.

La ausencia de análisis integrales que vinculen la producción de cultivos básicos con los ciclos macroeconómicos y otros factores como los precios internacionales, la apertura comercial o la reducción de apoyos gubernamentales, limita la capacidad de diseñar estrategias eficientes para mitigar el riesgo agrícola.

Los enfoques centrados exclusivamente en la variabilidad de corto plazo no permiten capturar las relaciones estructurales persistentes que existen entre la producción, la oferta y la demanda de estos cultivos, y sus determinantes económicos, demográficos y climáticos. La falta de análisis que identifiquen equilibrios de largo plazo entre variables impide comprender como se ajusta el sistema agrícola ante desequilibrios temporales, lo que reduce la efectividad de las políticas públicas orientadas a la estabilidad del sector.

Por lo tanto, resulta necesario identificar empíricamente los patrones cíclicos de producción, medir su variabilidad, explorar su sincronización con la economía nacional y evaluar el impacto en los principales cultivos agrícolas de México. Se estudiaron las fluctuaciones y riesgos productivos del maíz, frijol, trigo y arroz en los años de 1993-2022, con el fin de aportar evidencias útiles para diseños de políticas públicas que establezcan y refuercen la seguridad alimentaria nacional.

1.2 Antecedentes

La producción del maíz, frijol, trigo y arroz son pilares de la seguridad alimentaria en México; sin embargo, ha mostrado una gran volatilidad en el transcurso de los años debido a factores de mercado, política agrícola y cambios climáticos (SIAP, 2022; González *et al.*, 2021). Eventos climáticos como sequías, heladas, entre otros, han provocado caídas abruptas en las cosechas, mientras que la apertura comercial del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) ha expuesto a los productores nacionales a una competencia de importaciones más baratas (De Ita, 2024; Steffen, 2017).

La dependencia del clima, especialmente al sistema de agricultura temporal genera una alta volatilidad de rendimientos. Por ejemplo, una helada en el 2011 en Sinaloa

redujo la producción nacional de maíz en un 50% (Ayala, 2013); en el frijol, se han presentado reducciones de hasta 40% en rendimientos durante sequías severas (Romero et al., 2019). La poca o nula tecnología agrícola adecuada a esa volatilidad y la concentración regional de la producción agrícola incrementan la vulnerabilidad ante riesgos meteorológicos (Frieler *et al.*, 2017; Cruz *et al.*, 2023).

La liberación comercial ha modificado la estructura productiva. Desde que se firmó el TLCAN en 1994, México pasó de ser autosuficiente en arroz a importar más del 80% de su consumo (Ibarra, 2016; Ireta et al., 2016). El frijol y el trigo ha seguido trayectorias similares, con aumentos en importaciones y pérdidas de competitividad interna (Pureco y García, 2017).

Los cultivos básicos exhiben comportamientos cíclicos. Existen ciclos estacionales relacionados con los ciclos de cultivo: primavera-verano y otoño-invierno, así como ciclos plurianuales vinculados con fenómenos climáticos, como los de El Niño y La Niña, y con respuestas de la siembra ante cambios de precio (Therrell *et al.*, 2012). Estos ciclos dificultan la planificación agrícola y evidencian la necesidad de políticas públicas contracíclicas, como reservas estratégicas o precios de garantía (CECCAM, 2023).

El uso de modelos de cointegración multivariada, como los propuestos por Johansen (1995) y Enders (2015), permite identificar equilibrios dinámicos entre variables como el precio medio rural, el ingreso per cápita, la población y la temperatura. Este enfoque ha sido útil en contextos internacionales similares, como los estudios de Le y Bentzen (2025) en Vietnam o Kyaw *et al.* (2023) en Tailandia, en los que se demuestra que el cambio climático y los factores macroeconómicos afectan de manera persistente al sistema agrícola.

En México, la aplicación de modelos de cointegración a cultivos básicos es relativamente nuevo. Sin embargo, investigaciones recientes como las de García-Sánchez *et al.* (2024) entre otros, han mostrado que el valor de producción está fuertemente determinado por variables estructurales, y que existen mecanismos de

ajuste intertemporal que explican los comportamientos de oferta y demanda más allá de lo habitual.

1.3 Justificación

Desde un enfoque económico y social, los cultivos básicos de México (maíz, frijol, trigo y arroz) representan un bien esencial para la seguridad alimentaria nacional; su disponibilidad y adquisición resulta fundamental para proteger la población.

Comprender las causas de las fluctuaciones productivas permite diseñar estrategias más eficientes para la gestión de riesgos. Se han impulsado programas orientados a la recuperación de la autosuficiencia alimentaria en granos, pero su éxito depende de diagnósticos precisos sobre factores estructurales de la volatilidad.

El estudio ofrece una perspectiva integral al analizar un periodo de tres décadas (1993-2022), que incluye reformas estructurales (liberación comercial), como eventos recientes de impacto global (crisis y pandemia). La metodología empleada combina el análisis cíclico con herramientas econométricas, lo que permite identificar no solo las fases de auge y caída en la producción, sino también las relaciones estructurales de largo plazo entre variables clave.

La incorporación de modelos de cointegración y vectores de corrección de errores (VECM) representa una innovación metodológica significativa. Estos modelos permiten estimar relaciones de equilibrio entre variables no estacionarias y entender como el sistema agrícola corrige sus desequilibrios a lo largo del tiempo.

En este sentido la investigación ofrece evidencia útil para orientar políticas públicas, como el diseño de instrumentos de cobertura de precios, seguros agrícolas o inversiones en infraestructura. La FAO ha señalado que mitigar la volatilidad es clave para lograr para lograr un desarrollo agrícola y resiliente (FAO, 2020).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Identificar, analizar y caracterizar las fluctuaciones cíclicas, los riesgos de producción y las relaciones estructurales de largo plazo entre la oferta, la demanda y la producción de maíz, frijol, trigo y arroz en México durante el periodo de 1993-2022.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar las series de tiempo de la producción de los cultivos maíz, frijol, trigo y arroz 1993-2022; identificar tendencias de largo plazo; ciclos de auge y caída; estacionariedades y otros patrones de fluctuación, siempre cuantificando la variabilidad interanual de cada cultivo.
2. Determinar los ciclos económicos de la producción de los cultivos, su duración, amplitud de fases expansiva y contractivas, evaluar la sincronización de las fluctuaciones de los cuatro cultivos como la relación entre los ciclos económicos nacionales de 1993-2022.
3. Estimar los riesgos económicos asociados a la volatilidad en la producción de los cultivos básicos, mediante el cálculo de indicadores de volatilidad y la estimación de la probabilidad de eventos extremos, con el fin de comprender la magnitud de la incertidumbre a la que se enfrentan los productores y otros agentes económicos relacionados con el sector agrícola.
4. Aplicar pruebas de raíz unitaria y de cointegración para identificar relaciones de equilibrio de largo plazo entre la cantidad producida y sus principales determinantes económicos, demográficos y climáticos.
5. Estimar modelos de corrección de errores vectoriales (VECM) para analizar los mecanismos de ajuste intertemporal en los sistemas de oferta y demanda agrícola, con el fin de evaluar las perturbaciones temporales que afectan la dinámica estructural del sistema agrícola mexicano.

1.5 Hipótesis

La producción de los cultivos básicos en México muestra fluctuaciones cíclicas que están estrechamente relacionadas a los ciclos económicos nacionales.

Esta hipótesis plantea que durante los periodos de expansión económica (auge) la producción de maíz, frijol, trigo y arroz tienden a incrementar por encima de su tendencia, mientras que en los periodos de recesión (caídas) económicas la producción tiende a estancarse o decrecer, generando mayores riesgos de desabasto. Esa hipótesis también sugiere que los ciclos económicos generales actúan como un factor modulador de las variaciones productivas agrícolas: la fase de crecimiento económico genera un entorno favorable para la producción de estos granos mediante un crecimiento en la inversión, la demanda y el apoyo al sector, mientras que la fase recesiva propicia vulnerabilidades en el sector, resultado de las fluctuaciones negativas más pronunciadas.

Se sugiere que el valor de la producción agrícola de estos cultivos tiene una relación de equilibrio a largo plazo con factores económicos, demográficos y climáticos. Variables como el precio medio rural, la superficie cultivada, el ingreso per cápita, la población y la temperatura están cointegradas con la oferta y la demanda de los cultivos. Los choques a corto plazo provocan desviaciones temporales, pero el sistema tiende a corregirse y volver a su equilibrio estructural.

Por lo tanto, se busca confirmar que las oscilaciones en la producción durante el periodo 1993-2022 fueron aleatorias y, sin embargo, exhiben un patrón cíclico irregular ligado al desempeño de la economía. Ese patrón cíclico tiene implicaciones directas para la gestión del riesgo agrícola y la formulación de políticas de estabilización en México.

1.6 Presentación del documento

El documento presenta los siguientes capítulos: el primer capítulo se desarrolla la importancia del estudio, el problema de investigación, los antecedentes, la justificación, los objetivos, la hipótesis y una breve descripción de cada capítulo.

El segundo capítulo desarrolla la revisión de literatura, donde aborda los principales aspectos de la investigación, en este caso una descripción económica de los cultivos básicos de México (maíz, frijol, trigo y arroz), las fluctuaciones y riesgos, así como la base teórica para desarrollar el análisis econométrico de los objetivos planteados para la investigación.

En el tercer capítulo se presenta el primer artículo de investigación que lleva por nombre “Fluctuaciones y riesgos de los cultivos básicos en México”, donde se describe la metodología utilizada, las características de los datos implementados y se expone los resultados del análisis.

En cuarto capítulo muestra el segundo artículo titulado “Cointegración de la oferta y demanda del valor de producción de cultivos básicos en México”, en el que se presentan las pruebas econométricas realizadas, con el objetivo de identificar las relaciones estructurales de largo plazo entre las variables que afectan el sistema agrícola.

Por último, el quinto y sexto capítulo se presentan las conclusiones, recomendaciones y las fuentes bibliográficas y estadísticas utilizadas para en la investigación.

1.7 Referencias bibliográficas

- Ayala, E., y J. Chapa. (2013). Impacto económico de las heladas y del financiamiento de la resiembra en Sinaloa. *Revista de Economía*, 30(81), 11–55. <https://doi.org/10.33937/reveco.2013.40>
- Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano (CECCAM). (2023). El mercado de granos y la seguridad alimentaria en México. <https://ceccam.org>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Políticas públicas para la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org>

- Cruz-González, C., J.J. Hernández., y L. Gómez. (2023). Sensibilidad climática de la producción de maíz en México. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 12(1), 45–56. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327>
- De Ita, A. (2024). Impacto del TLCAN en la agricultura mexicana. Informe CECCAM. <https://ceccam.org>
- Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series*. Fourth edition. Hoboken, NJ: Wiley.
- FAO. (2020). La volatilidad de los precios de los alimentos y su impacto en la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- Frieler, K., S. Lange., y F. Piontek. (2017). *Assessing the impacts of 1.5°C global warming*. *Nature Climate Change*, 7(6), 449–453. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4321-2017>
- García-Sánchez, R.C., García-Matamoros, M., García-Mata, R., y D.M. Sangerman Jarquín. (2024). Determinantes de la demanda de maíz en México, 1970–2020. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3325>
- González-Celada, E., M. Ramírez., y A. Vargas. (2021). Riesgos climáticos en la agricultura mexicana. *Estudios Sociales Rurales*, 23(2), 77–95.
- González-Estrada, A., y A.L. Hernández-Espinosa. (2013). Regularidades de las fluctuaciones cíclicas de la producción agropecuaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 367–380. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1199>
- Granados Sánchez, M.R., J. Galán Figueroa., y J.A. Leos Rodríguez. (2020). Volatilidad en los precios de los cereales básicos y su impacto en la seguridad alimentaria: México, 1995–2018. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 29(58), 79–105. <https://doi.org/10.20983/noesis.2020.2.4>

- Ibarra, A.A. (2016). Crisis del arroz en México: causas estructurales. *Revista Mexicana de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales*, 9(1), 31–47.
- Ireta, A., C. Gómez., y J. Hernández. (2016). Dinámica de la producción arrocería en México. *Agricultura y Desarrollo* 13(2), 23–36.
- Johansen, S. (1995). *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford University Press. Reino Unido.
<https://doi.org/10.1093/0198774508.001.0001>
- Kyaw, Y., T.P.L. Nguyen, E. Winijkul, W. Xue, and S.G.P. Viridis. (2023). The effect of climate variability on cultivated crops' yield and farm income in Chiang Mai province, Thailand. *Climate*, 11(10), 204 p.
<https://doi.org/10.3390/cli11100204>
- Le, T. T., and J. Bentzen. (2025). Impact of climate change on agricultural yield: Evidence from Vietnam. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E Journal*, 11(1), 102–119 p.
<https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.04>
- Pureco, R., y H. García. (2017). Política agroalimentaria y dependencia del arroz. *Estudios de Economía Rural*, 7(3), 59–72.
- Romero-Félix, N., M. López., y J. Chávez. (2019). Efectos de la sequía en el rendimiento del frijol común. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 351–364. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1607>
- SIAP. (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap>
- Steffen, R. (2017). El neoliberalismo en el campo: consecuencias del TLCAN. *Revista de Estudios Sociales Latinoamericanos*, 8(1), 101–122.
- Therrell, M.D., D.W. Stahle., y M.E. Ortiz. (2012). Tree-ring reconstructions of maize yield variability in central Mexico. *Climate Change*, 112(3-4), 705–717.
<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0265-3>

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Granos básicos de México: maíz, frijol, trigo y arroz.

Los cultivos básicos: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus spp.*), trigo (*Triticum spp.*) y arroz (*Oryza sativa*), son fundamentales para la agricultura y la seguridad alimentaria de México. Según la SADER (2022) y la FAO (2021), estos granos se consideran estratégicos, no solo por su producción sino también por su relevancia cultural y nutricional en el país. México destaca por su diversidad agrícola, con más de cien cultivos, entre los cuales estos cuatro sobresalen por su importancia económica, impacto en la dieta y la tradición mexicana.

2.1.1 Definición y características de los granos básicos

I. Maíz (*Zea mays*)

Es un cereal originario de Mesoamérica, se domesticó hace 7,000 años en el territorio mexicano (SADER, 2015). En México existen 64 razas nativas de maíz, adaptadas a diversos climas y regiones (SADER, 2022).

En la actualidad, se producen anualmente entre 25 y 27 millones de toneladas de maíz, principalmente de maíz blanco para consumo humano. Este maíz no es suficiente para cubrir la demanda total, así que se produce también maíz amarillo para usos pecuarios e industriales. En el 2024 las importaciones de maíz alcanzaron un récord de 23.6 millones de toneladas, un 20% más que en el año anterior (GCMA, 2025).

II. Frijol (*Phaseolus spp.*)

Leguminosa originaria de México, principalmente en la región Occidente. Formó parte integral del sistema agrícola prehispánicos y sigue siendo esencial en la dieta de los mexicanos y centroamericanos (SADER, 2022). Presenta una amplia diversidad genética, con variedades como ayocote, tépari y lima (SNICS, 2017).

En el 2021, la producción nacional alcanzó 1.2 millones de toneladas principalmente de frijol negro y pinto para consumo local. A pesar de cubrir gran parte de la

demanda, en 2024 se importaron 230 mil toneladas para complementar el abasto (GCMA, 2025).

III. Trigo (*Triticum* spp.)

Introducido por los españoles en 1523, este cereal de origen asiático se adaptó rápidamente al centro y norte de México, volviéndose clave durante la colonia (CIMMYT, 2020).

Actualmente, se cultiva trigo harinero y cristalino, principalmente bajo riego en el noroeste. Sonora aporta más del 60% de la producción nacional, que en 2021 fue 3.2 millones de toneladas. Sin embargo, la demanda, principalmente de la industria, superó la oferta, con importaciones récord de 5.3 millones de toneladas en 2024 (SADER, 2022; GCMA, 2025).

IV. Arroz (*Oryza sativa*)

Cereal de origen asiático introducido durante el periodo colonial. Su adaptación a climas cálidos y húmedos de la Nueva España se facilitó gracias al conocimiento agrícola de los esclavos africanos (Cabeza Bolaños & Espinoza, 2000). Su cultivo comenzó de manera gradual, se consolidó como alimento básico en los siglos XIX y XX.

En la actualidad, se produce en volúmenes limitado en zonas tropicales como Campeche, Veracruz, Nayarit y Michoacán. En 2021, la producción nacional fue de 257 mil toneladas (SADER, 2022), cantidad para cubrir tan solo una fracción de la demanda interna. Esto llevó a importar 1.03 millones de toneladas en 2024, un 25% más que años anteriores (GCMA, 2025).

2.1.2 Relevancia económica y seguridad alimentaria

Los cultivos básicos desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria y la economía agrícola en México. Según la FAO (1996), la seguridad alimentaria se alcanza cuando todas las personas tienen acceso económico y físico permanente al alimento suficiente, seguros y nutritivos. La producción sostenida de cultivos

básicos contribuye directamente a los cuatro pilares de la seguridad alimentaria: disponibilidad, acceso económico, aprovechamiento biológico y estabilidad.

Estos cultivos, además de ser culturalmente aceptados y ampliamente consumidos, poseen un alto valor nutricional, lo que refuerza su importancia social. Son el grupo de cultivos más importantes económica y socialmente.

El maíz, el trigo y el arroz suelen estar vinculados a agricultores comerciales en regiones específicas del país, generando empleo y activando cadenas agroindustriales. En términos económicos, el valor de producción de ellos cultivos básicos constituye una fracción significativa del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario. Solo el maíz representó más del 20% del valor agrícola nacional y fue el cultivo con mayor valor en el 2020-2021 (SADER, 2022).

A pesar de los esfuerzos institucionales, México continúa siendo altamente dependiendo de las importaciones. En el 2024, las importaciones de granos básicos (maíz, frijol, trigo, arroz y oleaginosas) alcanzó un volumen récord de 46.7 millones de toneladas, con un valor aproximado de 17,700 millones de dólares (GCMA, 2025). Esta dependencia incrementa la vulnerabilidad del país frente a factores externos como la volatilidad de los precios internacionales y las interrupciones en las cadenas logísticas, repercute negativamente en la seguridad alimentaria.

Con el objetivo de fortalecer la autosuficiencia y garantizar el abasto de cultivos estratégicos, el gobierno ha implementado programas como *Producción para el Bienestar*, subsidios de fertilizantes y *Precios de Garantía*. No obstante, su ineficiencia económica y social, esas iniciativas buscan respaldar a los pequeños productores y fomentar la producción nacional (SADER, 2020).

Los cultivos básicos cumplen una función multidimensional: aseguran la nutrición de la población, sostienen la economía rural y preservan una identidad agroalimentaria histórica arraigada en el país.

2.2 Fluctuaciones y riesgos en la producción de los cultivos básicos en México

La producción agropecuaria, en particular la de cultivos básicos, presentan una elevada volatilidad. Diversos factores provocan que las cosechas varíen de un año a otro, generando incertidumbre tanto para los productores como para el sistema alimentario.

2.2.1 Evidencia de volatilidad en la producción y precios agrícolas

La producción y precios agrícolas en México, presenta alta volatilidad debido a factores climáticos, económicos y estructurales. Según la FAO (2011), las fluctuaciones de precios son características inherentes a los mercados agrícolas internacional competitivos. No obstante, cuando esta volatilidad se intensifica, puede provocar distorsiones en el sistema de precios, así costos sociales y económicos. La crisis alimentaria de 2007-2008 evidenció la volatilidad en los precios de los granos básicos generó efectos globales que comprometieron a la seguridad alimentaria (Coordination Sud, 2010).

Organismos como la CEPAL, FAO e IICA han advertido que la volatilidad seguirá afectando a los mercados agrícolas de América Latina, la cual los ingresos por exportación y la balanza comercial. La CEPAL (2001) plantea la necesidad de implementar políticas integrales que incluyan reservas estratégicas, esquemas de seguros y estrategias de diversificación productiva.

En México han identificado patrones de auge y caída en la producción de ciertos cultivos. Díaz-Carreño *et al.* (2007) identificaron que estas fluctuaciones siguen cíclicos estructurados y presentan autocorrelación, influenciadas principalmente por las condiciones de los mercados internacionales. Por ejemplo, la sequía de 2011 evidenció la vulnerabilidad del sistema productivo ante los eventos climáticos extremos, lo que derivó en reducciones notables en la producción de maíz y frijol. También. Se ha comprobado que la volatilidad de los precios internos está fuertemente ligada a las cotizaciones internacionales, particularmente del maíz amarillo y el trigo panificable. Aunque el gobierno ha introducido mecanismos como

los precios de garantía para contener estas oscilaciones, los resultados han sido mixtos y de eficacia limitada.

Otros estudios, con base en modelos econométricos, han profundizado en el análisis de la volatilidad. Komarek *et al.* (2020) distinguen distintos tipos de riesgo en la agricultura y destaca que la producción agrícola enfrenta riesgos sistémicos a diferentes escalas, lo cual incrementa la inestabilidad de rendimientos y los costos. En el plano macroeconómico, Agénor *et al.* (2000) concluyó que las economías en desarrollo registran una mayor volatilidad relativa en su PIB agropecuario en comparación con otros sectores. En el caso de México, Sánchez (2019) concluyó que el PIB agropecuario ha atravesado fases recesivas más frecuentes y profundas que el PIB total, lo que confirma su vulnerabilidad cíclica.

La evidencia disponible indica que la producción agrícola mexicana, responde de manera sensible a los *shocks* externos y que las decisiones de producción suelen estar condicionadas por expectativas racionales. Por ello, comprender la dinámica cíclica de los cultivos básicos resulta esencial para diseñar políticas públicas orientadas a mejorar la estabilidad y resiliencia del sector agrícola.

2.2.2 Teorías económicas

I. Teoría de la oferta y la demanda

La formación de los precios agrícolas se explica fundamentalmente a través de la interacción de la oferta y la demanda. En este contexto, la oferta agrícola suele ser inelástica en el corto plazo debido al ciclo biológico de los cultivos, lo que impide ajustes inmediatos. Por su parte, la demanda genera que pequeños desequilibrios entre la oferta y demanda pueden ocasionar fuertes variaciones en los precios (FAO, 2011).

Cuando los productores toman decisiones con base en información incompleta o expectativas incorrectas, es común que sobre ajusten a su nivel de producción. Este comportamiento puede provocar desequilibrios persistentes en los ciclos agrícolas siguientes, aumentando la inestabilidad del mercado

II. Modelo de telaraña (*Cobweb model*)

El modelo de telaraña, propuesto por autores como Kaldor (1934), ofrece una explicación teórica sobre las oscilaciones cíclicas en los precios y las cantidades del mercado agrícola. Este modelo se base en los rezagos inherentes a la toma de decisiones de los productores. Específicamente, plantea que los agricultores determinan cuánto sembrar según el precio observado en el ciclo anterior. Esta dinámica conduce a una alternancia entre periodos de sobreproducción y escasez.

Por ejemplo, cuando el precio de un cultivo es alto, los productores tienden a aumentar la siembra para el siguiente ciclo. Este aumento en la oferta tiende a aumentar la simbra para el siguiente ciclo. Este aumento en la oferta genera una caída en los precios, lo que a su vez desincentiva la siembre en la siguiente temporada. Esta menor oferta provoca una nueva alza de precios, repitiéndose el ciclo

El modelo contempla tres posibles trayectorias para estas oscilaciones, dependiendo de las elasticidades relativas de la oferta y la demanda:

- Ciclo convergente: las oscilaciones disminuyen con el tiempo y el mercado tiende al equilibrio,
- Ciclo divergente: las oscilaciones se amplifican, alejándose del equilibrio
- Ciclo sostenido: Las oscilaciones se mantienen constantes a lo largo del tiempo.

Rosen (1987) destaca que este modelo es especialmente aplicable al sector agrícola, debido a los lapsos prolongados entre la decisión de siembra y cosecha, lo que impide ajustes inmediatos a los cambios de precio.

III. Teoría de riesgos en la agricultura

La agricultura opera en un entorno de alta incertidumbre, donde factores como el clima, las plagas y fluctuaciones de precios introducen riesgos constantes. La teoría de riesgo agrícolas analiza como los productores toman decisiones en contextos adversos y bajo condiciones de información incompleta.

Sandmo (1971) demostró que la aversión al riesgo induce a los productores a adoptar estrategias más conservadoras, como la elección de tecnologías rústicas pero confiables que minimicen la exposición a resultados negativos. Posteriormente, Hardaker *et al.* (2004) plantearon que la gestión de los riesgos es un componente central en la toma de decisiones agrícolas. Este enfoque incorpora herramientas analíticas como el valor esperado y la varianza, para evaluar las alternativas productivas con base a su rentabilidad ajustada al riesgo.

En México, Díaz *et al.* (2007) aplicaron el enfoque de portafolio para seleccionar combinaciones óptimas de cultivos. Su objetivo fue maximizar las ganancias y, al mismo tiempo, minimizar la volatilidad. Los resultados evidenciaron que diversificar entre granos básicos y otros cultivos reduce el riesgo agregado, lo que convierte a la diversificación en una estrategia clave de resiliencia agrícola.

Komarek *et al.* (2020) propusieron una clasificación de los riesgos agrícolas que permite un análisis integral de sus interacciones. Estos se agrupan en cinco categorías.

- a) Riesgos de producción: incluyen evento climáticos extremos, sequías, heladas y plagas.
- b) Riesgos de mercado: se refieren a la inestabilidad en los precios de insumos y productos.
- c) Riesgos financieros: relacionados con el acceso a crédito y la variabilidad en tasas de interés.
- d) Riesgos institucionales: asociados a cambios en políticas públicas, subsidios o regulaciones.
- e) Riesgos personales: enfermedades, accidentes o sucesión generacional en la unidad productiva.

La interacción entre estos tipos de riesgos puede amplificar la volatilidad del sector agrícola, afectando la producción. Para mitigar estos efectos, existen diversas herramientas de gestión del riesgo, entre ellas: seguros agrícolas, contratos a futuro, estrategias de diversificación productiva, políticas de estabilización.

La teoría de riesgos agrícolas y sus herramientas permiten desarrollar estrategias orientadas a la mejora en la toma de decisión en condición de incertidumbre.,

2.2.3 Ciclos económicos y volatilidad de mercados

Los ciclos económicos explican las fluctuaciones recurrentes en la actividad económica agregada, alternando fases de expansión, contracción, auge y recesión. Schumpeter (1939) analizó estos procesos en el contexto del desarrollo capitalista e identificó distintos tipos de ciclos como Kitchin, Juglar y Kondratieff, impulsados por innovaciones tecnológicas y dinámicas endógenas del sistema económico.

En el sector agrícola los ciclos económicos están influenciados por una combinación de factores naturales (clima y estacionalidad) y factores macroeconómicos (inversión agrícola, precios internacionales). Por ejemplo, durante las fases de expansión económica. El sector tiende a recibir mayores inversores, acceso a financiamiento y mejoras tecnológicas. En contraste, durante las recesiones predominan estrategias de autoconsumo, reducción de costos y menor participación en mercados externos.

Los modelos contemporáneos como los *Ciclos Reales de Negocios*, como el desarrollado por Kydland & Prescott (1982), sostienen que las fluctuaciones cíclicas son respuestas racionales a respuesta racionales de los agentes económicos ante shocks reales, tales como cambios tecnológicos o climáticos o la disponibilidad de recursos. En este marco teórico, las variaciones en la producción agrícola y en los precios se entiende como reacciones estructuradas a dichos shocks.

Deaton (1999) y Cashin *et al.* (2002) afirman que en las series de tiempo de los precios agrícolas tienden a surgir ciclos de auge y caída, influenciados por factores como los niveles de inventario, las expectativas de los productores y las condiciones macroeconómicas globales. Estos estudios evidencian que la volatilidad en los mercados forma parte de patrones cíclico-económicos más amplios.

2.2.4 Factores de riesgos y volatilidad en la producción agrícola

La variabilidad en la producción de los cultivos básicos responde a la interacción de múltiples factores de riesgos, los cuales pueden agruparse en cuatro categorías: climáticos, económicos, institucionales y técnicos. La interacción entre estos factores provoca fluctuaciones importantes en los volúmenes producidos, lo que impacta directamente en los precios y en la estabilidad del abasto alimentario.

2.2.5 Factores climáticos y ambientales

La agricultura depende en gran medida de las condiciones climáticas, por lo que fenómenos como sequías, inundaciones, heladas o tormentas tropicales pueden afectar drásticamente los rendimientos. En México, la diversidad climática expone al sector agrícola a una alta vulnerabilidad frente a estos eventos extremos. Por ejemplo, durante el periodo 2011-2012, una severa sequía redujo un 30% la producción de maíz y frijol. En contraste, en 2014 un ciclo con abundante humedad en Sinaloa impulsó la producción de maíz a niveles récord (FAO, 2021).

Además, el cambio climático ha intensificado la frecuencia y magnitud de estos eventos, al tiempo que ha favorecido la proliferación de plagas y enfermedades agrícolas. Factores que representan riesgos sistémicos que afectan la estabilidad productiva de forma persistente.

Estos elementos aumentan la incertidumbre en las decisiones productivas, generan fluctuaciones interanuales constante y limitan la capacidad de planificación de los productores.

2.2.6 Factores económicos y de mercado

Los mercados agrícolas, tanto nacionales como internacionales, influyen significativamente en las decisiones de siembra y, por lo tanto, a los niveles de producción. La volatilidad de precios internacionales de granos se transmite directamente a México, dada su inserción en el comercio global. Cuando los precios internacionales aumentan, los productores nacionales tienden a expandir la superficie sembrada, lo que puede derivar en un sobreajuste de la oferta. En

cambio, cuando los precios caen, la siembra se reduce, lo que puede ocasionar escasez y tensionar la disponibilidad interna de alimentos.

Además, los costos de insumos, como fertilizantes, y de los combustibles afectan directamente la rentabilidad esperada de los cultivos. El tipo de cambio peso-dólar también desempeña un papel importante, ya que muchos insumos son importados y su encarecimiento eleva los costos de producción. Un ejemplo reciente, se registró en 2022, cuando el aumento global en los precios de los fertilizantes elevó los costos de producción de los cultivos básicos (CEPAL, 2022).

Asimismo, los tratados comerciales, como el T-MEC, exponen a los productores mexicanos a la competencia directa con países de mayor capacidad tecnológica y subsidios, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a fluctuaciones de mercado.

La variación de precios en los mercados agrícolas constituye un riesgo de mercado, debido a que altera los incentivos económicos para sembrar y afectan directamente en la rentabilidad esperada.

2.2.7 Factores políticos e institucionales

Las decisiones gubernamentales en materia agrícola desempeñan un papel crucial en la mitigación o amplificación de la volatilidad en la producción. Políticas como los *precios de garantía* y los subsidios a insumos reducen la incertidumbre y estimulan la producción, aunque de manera económicamente ineficiente, especialmente entre pequeños y medianos productores. No obstante, la reducción, la eliminación o la inestabilidad de estos apoyos puede desalentar la producción, incrementar la vulnerabilidad del sector y provocar un abandono progresivo de la tierra cultivables.

La infraestructura rural, incluidos los sistemas de riego y el acceso a créditos o seguros agrícolas influyen en la capacidad de respuesta de los productores ante eventos catastróficos. La inestabilidad institucional, como cambios bruscos en las prioridades presupuestarias o medidas regulatorias inesperadas, también generan incertidumbre para los productores (FAO, 2013; Banco Mundial, 2011).

2.2.8 Factores tecnológicos y estructurales

La innovación tecnológica puede reducir riesgos en el mediano plazo, pero en el corto plazo puede generar volatilidad debido a la incertidumbre de adopción. La ausencia de innovación tecnológica provoca bajos rendimientos y mayor dependencia del clima, lo que incrementa la volatilidad productiva.

También influyen factores estructurales como la urbanización, la migración rural, la fragmentación de tierras, la baja mecanización y el predominio de pequeños productores, lo cual limita la capacidad de adaptación ante los riesgos. En contraste, las empresas comercializadoras integradas pueden estabilizar la producción mediante acuerdos de abastecimientos. Además, factores externos como la demanda de biocombustibles modifican la demanda global y contribuyen a la volatilidad de precios (FAO, 2011).

2.3 Análisis estadístico de las fluctuaciones

El enfoque econométrico para el análisis de las fluctuaciones de los cultivos básicos consta de combinar técnicas como estadísticas aplicadas a series de tiempo. El procedimiento influye.

- a) análisis de series de tiempo.
- b) aplicación del filtro Hodrick-Prescott para descomponer las series en tendencias y los componentes cíclicos.
- c) el análisis de morfologías de ciclos con el modelo Harding y Pagan para determinar picos, valles y duración de fases.
- d) cálculo de variabilidad y covariabilidad para cuantificar la volatilidad y el comovimiento de las series.
- e) análisis de cambios de fase y sincronización de los ciclos.
- f) pruebas de estacionariedad (ADF, PP, KPSS) para evaluar las propiedades estadísticas de las series de tiempo.
- g) prueba de cointegración (Engel-Granger) para investigar relaciones de equilibrio de largo plazo entre variables.

Este procedimiento se describe a detalle en los siguientes apartados.

2.3.1 Series de tiempo

Una serie de tiempo es una secuencia de datos observados y ordenados cronológicamente de una variable, denotada como $Y_t = \{y_1, y_2, \dots, y_T\}$, donde $t = 1, 2, \dots, T$ representa unidades de tiempos sucesivos (Montenegro, 1989). Este tipo de análisis permite estudiar el comportamiento dinámico de variables económicas y agrícolas a lo largo del tiempo.

Un concepto clave en el análisis de series de tiempo es la estacionariedad, ya que esta propiedad asegura que la media, la varianza y la covarianza de la serie se mantengan constantes a lo largo del tiempo. Un proceso estocástico es estacionario si su media μ , su varianza σ^2 , y la covarianza entre Y_t y Y_{t-k} dependen únicamente del rezago k , y no del tiempo específico t (Gujarati y Porter, 2010).

La estacionariedad es fundamental porque permite establecer relaciones estadísticas estables, lo que facilita generación de pronósticos confiables. Por el contrario, una serie no estacionaria puede presentar tendencias o cambios estructurales que dificultan su análisis y limitan su capacidad predictiva (Granger, 1986).

2.3.2 Filtro Hodrick-Prescott

El filtro Hodrick-Prescott (1997) es una herramienta utilizada para descomponer una serie de tiempo en dos componentes: una tendencia de largo plazo y un ciclo económico (Kydland y Prescott, 1990).

El filtro parte del supuesto de que una serie observada está compuesta por una tendencia suavizada g_t y fluctuaciones cíclicas c_t . Matemáticamente dada una serie de tiempo $\{y_t\}_1^T$, expresada de la siguiente manera:

$$y_t = g_t + c_t, \quad \text{para } t = 1, \dots, T$$

Donde c_t representa las desviaciones desde el componente de tendencia g_t , es decir: $c_t = y_t - g_t$; dado λ . La tendencia calculada por el filtro Hodrick-Prescott se obtiene al resolver el problema de optimización.

$$\text{Min}_{g_t} \left\{ \sum_{t=1}^T (c_t)^2 + \lambda \sum_{t=3}^T [(g_t - g_{t-1}) - (g_{t-1} - g_{t-2})]^2 \right\}$$

El primer término representa la suma de los cuadrados de las desviaciones de y_t respecto a su tendencia g_t . El segundo término penaliza las variaciones en la tasa de crecimiento de la tendencia, con un parámetro de suavizamiento λ que controla el grado de rigidez del comportamiento tendencial. Cuanto mayor sea λ , más suave será la tendencia estimada.

Para series anuales, se recomienda utilizar un valor de $\lambda = 100$, como sugieren Kydland & Prescott (1990).

2.3.3 Identificación de ciclos (Harding y Pagan)

El método propuesto por Harding & Pagan (2002) permite identificar los ciclos económicos mediante la localización de picos y valles en una serie de tiempo. Un ciclo económico se define como el intervalo entre dos valles consecutivos e incluye distintas fases como expansión, contracción, recuperación y desaceleración (Sánchez, 2019).

Según Sánchez (2019) y Schumpeter (2002), las fases del ciclo pueden definirse de la siguiente manera:

- Recuperación: fase en la que el ciclo comienza a acercarse nuevamente a su nivel de tendencia tras una contracción.
- Expansión: ocurre cuando el componente cíclico aumenta de forma continua durante al menos un año, superando su valor de tendencia y alcanzando un pico.
- Desaceleración: se manifiesta cuando el ciclo desciende por debajo de su tendencia, indicando un debilitamiento en el crecimiento.
- Contracción: se presenta cuando el ciclo decrece sostenidamente por al menos un año, ubicándose por debajo de su tendencia y alcanzando un valle.

2.3.4 Medición de variabilidad y covariabilidad

La variabilidad o volatilidad cíclica representa la magnitud de las desviaciones de una serie con respecto a su tendencia de largo plazo. Se estima mediante la desviación estándar del componente cíclico, obtenido tras aplicar el filtro Hodrick-Prescott (Prescott, 1986; Hodrick & Prescott, 1997). Esta medida indica qué tanto se aleja la producción anual de su trayectoria tendencial en términos porcentuales.

Otra medida complementaria es el coeficiente de variación (CV), que se calcula como la razón entre la desviación estándar y la media de la serie. Al ser una medida adimensional, permite comparar la volatilidad relativa entre distintas variables o cultivos (Gujarati y Porter, 2010).

La fórmula para calcular CV es:

$$CV = \frac{\text{Desviación estándar del ciclo}}{\text{Media de la serie original}}$$

La covariabilidad o comovimiento se refiere al grado en que dos series de tiempo fluctúan de manera conjunta. Se mide mediante el coeficiente de correlación de Pearson, aplicado a los componentes cíclicos de ambas series.

Una correlación positiva alta indica que los cultivos tienden a travesar simultáneamente fases de auge o caída. Una correlación cercana a cero sugiere independencia entre series, mientras que una correlación negativa implica comportamientos contracíclicos, es decir, que las fases de auge de un cultivo coinciden con la caída del otro (Hamilton, 1994).

La fórmula para covariabilidad es:

$$p_{xy} = \frac{cov(x_t, y_t)}{\sigma_x \sigma_y}$$

2.3.5 Análisis de cambios de fase

El análisis de cambios de fase permite determinar si una serie económica o productiva anticipa, coincide o retrasa sus movimientos cíclicos respecto a otra serie

de referencia. Este análisis se realiza mediante la correlación cruzada entre los componentes cíclicos de ambas series, desplazando una de ellas en el tiempo (Agénor *et al.*, 2000).

Se utilizan los coeficientes de correlación de Pearson, donde el parámetro $\rho(j)$, $j \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$, representa el número de periodos de adelanto o rezago. El valor absoluto del coeficiente $|p(j)|$ indica el grado de asociación entre las fases de los ciclos, mientras que el signo y el valor de j determina el tipo de sincronización:

- Si el máximo $|p(j)|$ ocurre en $j < 0$, la serie está adelantada respecto a la otra.
- Si ocurre en $j = 0$, las series son coincidentes.
- Si el máximo se presenta en $j > 0$, la serie está rezagada.

Este procedimiento permite identificar patrones de liderazgo o respuestas entre cultivos o variables macroeconómicas y productivas.

2.3.6 Pruebas de estacionariedad

En el análisis de series de tiempo, la estacionariedad es una propiedad fundamental para garantizar la validez estadística de los modelos aplicados al estudio de fenómenos económicos. Una serie es estacionaria si su media, varianza y la covarianza se mantiene constantes a lo largo del tiempo; es decir, si sus propiedades estadísticas no dependen del momento en que se observe la serie (Hamilton, 1994).

En cambio, una serie no estacionaria suele mostrar tendencias de largo plazo, cambios estructurales o volatilidad creciente. Estas características impiden la aplicación directa de modelos como la regresión clásica o el modelo VAR, y requieren transformar la serie, por ejemplo, mediante diferenciación o con el empleo de enfoques compatibles con series no estacionarias, como los modelos de cointegración.

Se dice que una serie de tiempo es integrada de orden d , denotada $I(d)$, si se vuelve estacionaria tras aplicar d diferencias sucesivas (Gujarati y Porter, 2010).

Para evaluar si una serie tiene raíz unitaria, es decir, si no es estacionaria, se aplican pruebas estadísticas, tales como:

I. Prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF)

La prueba ADF, propuesta por Dickey y Fuller (1979), permite evaluar la presencia de raíz unitaria en una serie de tiempo y_t , es decir, determinar si la serie es no estacionaria.

$$\Delta y_t = \alpha + \delta y_{t-1} + \gamma \sum_{i=1}^p \Delta y_{t-i} + e_t$$

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$$

Hipótesis:

$H_0: \delta = 0$: la serie y_t tiene al menos una raíz unitaria, por lo tanto, no es estacionaria.

$H_a: \delta \neq 0$: la serie y_t no tiene una raíz unitaria, por lo tanto, es estacionaria.

Regla de decisión:

- Si la prueba t es menor o igual al valor crítico de Mackinnon a un nivel de significancia α , entonces se rechaza H_0 y, por lo tanto, la serie y_t es estacionaria a un nivel de significancia α .
- Si la prueba t es mayor que el valor crítico de Mackinnon a un nivel de significancia α , entonces no se rechaza H_0 y, por lo tanto, la serie y_t no es estacionaria a un nivel de significancia α .

II. Prueba de Elliott-Rothenberg-Stock (ERS o DF-GLS)

La prueba DF-GLS (Dickey- *Fuller Generalized Least Squares*), desarrollada por Elliott, Rothenberg & Stock (1996), es una extensión de la prueba de ADF que mejora su potencia estadística, especialmente en muestras pequeñas.

Esta prueba aplica una transformación previa mediante mínimos cuadrados generalizados (GLS) a la serie de tiempo antes de realizar la regresión de prueba. El objetivo es eliminar de manera eficiente la media o la tendencia determinista, lo cual permite detectar fácilmente la estacionariedad.

Hipotesis:

H_0 : la serie es $I(1)$

H_1 : la serie no es $I(1)$

Regla de decisión:

Si t_α es menor que el valor crítico a un nivel de significancia δ , se rechaza H_0 .

Donde:

$$t_x = - \frac{\hat{\alpha}}{(Se(\hat{\alpha}))}$$

$\hat{\alpha}$ es el estimador de α , $Se(\hat{\alpha})$ es el error estándar.

III. Prueba Phillips-Perron (PP):

La prueba de Phillips-Perron(P), propuesta por Phillips & Perron (1988), evalúa la presencia de raíz unitaria en una serie de tiempo, al igual que la prueba ADF. Sin embargo, su enfoque es no paramétrico, lo que le permite corregir automáticamente problemas de autocorrelación y heterocedasticidad en los errores, sin necesidad de incluir términos de rezago adicionales en el modelo.

Esta característica la hace especialmente útil, en serie con errores de correlación o varianza no constantes, condiciones comunes en datos económicos y agrícolas.

Su Hipótesis nula es:

H_0 : la serie es $I(1)$

H_1 : la serie no es $I(1)$

Regla de decisión:

- Si $\tilde{t}_\alpha$ es menor que el valor crítico a un nivel de significancia δ , se rechaza H_0 . Donde:

$$\tilde{t}_\alpha = t_\alpha \left(\frac{\gamma_0}{f_0} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{T(f_0 - \gamma_0)(Se(\hat{\alpha}))}{2f_0^{\frac{1}{2}}S}$$

S es el error estándar de la regresión, γ_0 es un estimador de consistente del error de varianza, f_0 es un estimador del espectro residual en frecuencia cero.

IV. Prueba Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, y Shin (KPSS):

La prueba de KPSS, desarrollada por Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, y Shin (1992), evalúa la estacionariedad como hipótesis nula, a diferencia de las pruebas ADF, PP y DF-GLS que parten de la no estacionariedad.

El modelo considera que una serie de tiempo puede descomponerse en una tendencia determinista, un componente estacionario y un error aleatorio. La prueba se basa en el estadístico LM (*Lagrange multiplier*), calculado a partir de la suma acumulada de residuos de una regresión de la serie sobre una constante (o una constante y una tendencia).

La hipótesis de la prueba es:

H_0 : la serie es estacionaria $I(0)$

H_1 : la serie no estacionaria (tiene raíz unitaria) $I(0)$

Regla de decisión:

- Si LM es menor que el valor crítico a un nivel de significancia δ , se acepta H_0 . Donde:

$$LM = \sum_t \frac{S(t)^2}{T^2 f_0}, \quad S(t) = \sum_{r=1}^t \hat{u}_r, \quad u_r = y_r - x_r' \hat{\delta}(0)$$

V. Prueba Elliott-Rothenberg-Stock (ERS OLS):

La versión ERS (OLS) de la prueba desarrollada por Elliot, Rothenberg y Stock (1996) evalúa la presencia de raíz unitaria utilizando modelos de regresión sin

transformación GLS. A diferencia de la prueba DF-GLS, esta variante aplica directamente una regresión clásica con mínimos cuadrado ordinario (OLS), manteniendo el enfoque tradicional.

La hipótesis de la prueba es:

H_0 : la serie es $I(1)$

$H1$: la serie no es $I(1)$

Regla de decisión:

- Si P_T es menor que el valor crítico a un nivel de significancia δ , se rechaza H_0 . Donde:

$$P_T = (SSR(\bar{a}) - \bar{a}SSR(1))/f_0, \quad SSR(a) = \sum \hat{\eta}_t^2(a), \quad \hat{\eta}_t(a) = d(y_t|a) - d(x_t|a)' \hat{\delta}(a)$$

VI. Prueba Ng-Perron (Ng-P):

La prueba de Ng-Perron, propuesta por Ng y Perron (2001), constituye una familia de pruebas de raíz unitaria que mejoran el desempeño de las pruebas tradicionales (como ADF y PP) cuando se enfrentan a series con alta persistencia temporal o cuando el tamaño muestral es reducido.

Estas pruebas corrigen el sesgo hacia la no estacionariedad y reducen la varianza del estimador, mejorando la potencia estadística al evitar la sobre inclusión de rezagos y ajustado los errores estándar de manera eficiente.

Hipótesis:

H_0 : la serie es $I(1)$

$H1$: la serie no es $I(1)$

Regla de decisión:

- Si MZ_α es menor que el valor crítico a un nivel de significancia δ , se rechaza H_0 . Donde:

$$MZ_{\alpha}^d = T^{-1}(y_T^d)^2 - f_0 / 2k, \quad k = \sum_{t=2}^T (y_t^d - 1)^2 / T^2$$

2.3.7 Prueba de Breusch-Godfrey

La prueba de Breusch-Godfrey (BG), es una herramienta estadística diseñada para detectar la presencia de autocorrelación en los residuos de un modelo de regresión, ya sea tipo AR(p) o ARMA (p,q) (Gujarati, 2010).

A diferencia de otras pruebas como la de Durbin-Watson, la prueba de BG es aplicable incluso cuando el modelo incluye rezagos de la variable dependiente. Evalúa si los errores del modelo está correlacionado entre sí, lo cual violaría los supuesto clásicos de regresión lineal, afectando la validez de las inferencias estadísticas (Breusch 1978; Godfrey 1978).

Un modelo autorregresivo fr orden p, AR(p):

$$u_t = \rho_1 u_{t-1} + \rho_2 u_{t-2} + \dots + \rho_p u_{t-p} + \varepsilon_t$$

Las hipótesis nula y alternativa son:

H_0 : Para todo $i = 1, \dots, p$, $\rho_i = 0$. No existe autocorrelación de ninguna orden.

H_a : Existe al menos un $i = 1, \dots, p$, para el cual $\rho_i \neq 0$. Existe autocorrelación de algún orden.

La prueba de Breush-Godfrey se desarrolla mediante los siguientes pasos:

- I. Se estima el modelo de regresión usando el mínimo de cuadrados ordinarios (MCO) y se obtienen los residuales ε_t .
- II. Se realiza la regresión de ε_t sobre los residuales $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-p}$ más $u_{t-1}, u_{t-2}, \dots, u_{t-p}$.
- III. Se calcula el valor de R^2 de la regresión realizada en (2).
- IV. Los autores Breusch y Godfrey demostraron que:

$$(n - p)R^2 \sim X_p^2$$

Donde n es el tamaño de la muestra.

- V. Regla de decisión: a) Si el valor de $(n - p)R^2$ es mayor que $X_p^2(\alpha)$, entonces se rechaza H_0 , por lo que, da indicio de la existencia de autocorrelación con un nivel de significancia (α). b) si el estadístico es menos o igual al valor crítico, sugiere que no hay evidencia de autocorrelación en el residuo.

2.4 Análisis estadístico de cointegración

El análisis estadístico para la cointegración de la oferta y la demanda de los cultivos básicos de México, se sustenta con:

- a) El análisis de series de tiempo, para determinar raíz unitaria y estacionariedad.
- b) Cointegración por el método Johansen.
- c) Modelos vectoriales de corrección de errores (VECM).

Este método permite identificar relaciones de equilibrio de largo plazo y mecanismos de ajuste dinámico entre variables económicas, demográficas y climáticas.

2.4.1 Análisis de raíz unitaria y estacionariedad

El análisis de series de tiempo consiste en verificar la estacionariedad de las variables mediante una prueba de raíz unitaria. Se utilizó la prueba Dickey-Fuller aumentada (ADF) (Dickey & Fuller, 1979) y la prueba Phillips-Perron (PP) (Phillips & Perron, 1988). Ambas pruebas permiten detectar si una serie es no estacionaria en nivel pero estacionaria en primera diferencias, es decir, integrada de orden uno, $I(1)$.

Este procedimiento permite identificar si las variables son aptas para un análisis de cointegración, de acuerdo con estudios realizados por Hamilton (2020) y Gujarati (2010).

2.4.2 Cointegración Johansen

Una vez establecida la integración de las series, se aplicó la prueba de cointegración Johansen (Johansen, 1995), que se basa en una descomposición del sistema VAR para obtener vectores cointegrantes mediante máxima verosimilitud. Esto permite estimar múltiples vectores cointegrantes y sus respectivas relaciones estructurales.

El procedimiento Johansen considera dos pruebas principales: el estadístico de la traza (Trace) y el estadístico del valor propio máximo (*Max-Eigenvalue*), con valores críticos establecidos por Johansen y Juselius (1990). Estas pruebas permiten determinar el número de vectores cointegrantes que existen en el sistema, proporcionando evidencia sobre la existencia de equilibrios estables de largo plazo entre las variables.

2.4.3 Modelo vectorial de corrección de errores (VECM)

El sistema VAR fue reparametrizado como un modelo vectorial de corrección de errores (VECM), lo que permite capturar tanto la dinámica de corto plazo como la convergencia hacia el equilibrio de largo plazo. El término de corrección de errores mide el grado de desequilibrio en el periodo anterior y su coeficiente indica la velocidad con que las variables regresan al equilibrio.

EL modelo VECM sigue la formulación de Engle y Granger (1987), y ha sido ampliamente desarrollado en diferentes textos. Este modelo es útil para analizar sectores económicos, demográficos y climáticos que interactúan de manera conjunta.

2.5 Referencias bibliográficas

Agénor, P.R., C.J. McDermott, and E.S. Prasad. (2000). Macroeconomic fluctuations in developing countries: Some stylized facts. *The World Bank Economic Review*, 14(2): 251–285.
<https://doi.org/10.1093/wber/14.2.251>

- Banco Mundial. (2011). *Administración del Riesgo Agrícola en el Siglo XXI*. Washington, DC: Banco Mundial/FAO.
- Breusch, T. S. (1978). Testing for autocorrelation in dynamic linear models. *Australian Economic Papers*, 17(31), 334–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>
- CEPAL. (2011). *Volatilidad de los precios de productos básicos: Impactos y respuestas de política en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPAL. (2022). *Políticas públicas para la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org>
- CIMMYT. (2020). *Historia del trigo en México*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Cabezas Bolaños, E., & Espinoza Esquivel, A. M. (2000). El arroz en América: su introducción y primeras siembras. *Revista de Historia de América*, 126, 7–31.
- Cashin, P., McDermott, C. J., & Scott, A. (2002). Booms and slumps in world commodity prices. *Journal of Development Economics*, 69(1), 277–296. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00062-7)
- Coordination Sud. (2010). *Crise alimentaire mondiale: causes et conséquences*. <https://www.coordinationsud.org>
- Deaton, A. (1999). Commodity prices and growth in Africa. *Journal of Economic Perspectives*, 13(3), 23–40. <https://doi.org/10.1257/jep.13.3.23>
- Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>

- Díaz-Carreño, M. Á., Juárez-Toledo, R., & Gómez-Chagoya, M. C. (2007). Conformación de una cartera de inversión óptima de cultivos agrícolas para México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 7(25), 49–63.
- Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1996). Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica*, 64(4), 813–836. <https://doi.org/10.2307/2171846>
- Engle, R.F., and C.W.J. Granger. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica* 55: 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- FAO. (1996). Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2011). La volatilidad de precios en los mercados agrícolas: Evidencia, efectos en la seguridad alimentaria y respuestas normativas. Roma: FAO (Informe de políticas).
- FAO. (2013a). Gestión del riesgo en la agricultura: Un enfoque sistémico. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- FAO. (2013b). Marco para la gestión del riesgo en la agricultura. Roma: FAO.
- FAO. (2021). El impacto del cambio climático en la agricultura y la seguridad alimentaria. Roma: FAO.
- Godfrey, L. G. (1978). Testing for higher order serial correlation in regression equations when the regressors include lagged dependent variables. *Econometrica*, 46(6), 1303–1310. <https://doi.org/10.2307/1913836>
- Granger, C. W. J. (1986). Developments in the study of cointegrated economic variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48(3), 213–228. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>

- Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA). (2025). Compras de granos y oleaginosas. Entrevista concedida a Juan Carbajal y publicada en la Jornada el 16 de enero. Ciudad de México.
- Gujarati, D.N. (2010). *Essentials of Econometrics*. SAGE Publications. Thousand Oaks, CA: 412-466 p.
- Gujarati, D. N., y Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5ª ed.). México: McGraw Hill.
- Hamilton, J.D. (2020). *Time Series Analysis*. Princeton University Press. New Jersey: 475-543p.
- Hardaker, J. B., Huirne, R. B. M., Anderson, J. R., & Lien, G. (2004). *Coping with risk in agriculture* (2nd ed.). CABI Publishing.
- Harding, D., & Pagan, A. (2002). Dissecting the cycle: A methodological investigation. *Journal of Monetary Economics*, 49(2), 365–381. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(01\)00108-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(01)00108-8)
- Hodrick, R. J., & Prescott, E. C. (1997). Postwar U.S. business cycles: An empirical investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29(1), 1–16. <https://doi.org/10.2307/2953682>
- Johansen, S. (1995). *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford University Press. Reino Unido. <https://doi.org/10.1093/0198774508.001.0001>
- Johansen, S., and K. Juselius. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2): 169–210. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>
- Kaldor, N. (1934). A classificatory note on the determinateness of equilibrium. *Review of Economic Studies*, 1(2), 122–136. <https://doi.org/10.2307/2967618>

- Komarek, A.M., De Pinto, A., y Smith, V.H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178 (102738). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54(1–3), 159–178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- Kydland, F.E., and E.C. Prescott. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica* 50(6): 1345-1370.
- Kydland, F.E., and E.C. Prescott. (1990). Business cycles: Real facts and a monetary myth. *Quarterly Review*, Federal Reserve Bank of Minneapolis 14(2): 3-18.
- Montenegro, G. A. (1989). La función de autocorrelación y su empleo en el análisis de series de tiempo. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 23, 117-132.
- Ng, S., & Perron, P. (2001). Lag length selection and the construction of unit root tests with good size and power. *Econometrica*, 69(6), 1519–1554. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00256>
- Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335–346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- Rosen, S. (1987). Dynamic adjustments and cobweb phenomena. In Eatwell, J., Milgate, M., & Newman, P. (Eds.), *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*. Macmillan.
- SADER – Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Gobierno de México). (2015, 29 sep.). El maíz, fuente de inspiración y #OrgulloDeMéxico. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-maiz-fuente-de-inspiracion-y-orgullodemexico>

- SADER. (2020, agosto 20). Productores de pequeña escala son los que nos dan de comer. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/productores-de-pequena-escala-son-los-que-nos-dan-de-comer>
- SADER. (2022, julio 28). Maíz, frijol, arroz y trigo: los granos básicos de México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico>
- SNICS. (2017). Frijol (*Phaseolus* spp.): Generalidades. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.
- Sandmo, A. (1971). On the theory of the competitive firm under price uncertainty. *American Economic Review*, 61(1), 65–73.
- Schumpeter, J.A. (1939). *Business cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. McGraw-Hill.
- Schumpeter, J.A. (2002). Ciclos económicos: análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista. Prensas Universitarias. Zaragoza, España: vol. 5: 459-477.
- Sánchez, I. (2019). Ciclos económicos en México: Identificación, profundidad y duración. *Revista de Economía UNAM*, 16(47): 93-108.

3 FLUCTUACIONES Y RIESGOS DE LOS CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO

Dora Eloisa Dominguez Lopez¹ Adrián González Estrada², Miguel Ángel Martínez Damián³, Diana América Reyna Izaguirre⁴.

^{1,4} Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. (lopezdora0506@gmail.com) y (dreynai@chapingo.mx).

² Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Texcoco, km 13.5, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250. (adrglez@prodigy.net.mx).

³ Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56264. (angel24559@gmail.com).

Autor para correspondencia: Adrián González Estrada, adrglez@prodigy.net.mx.

3.1 Resumen

La producción agrícola es muy volátil debido a factores climáticos, económicos y políticos, lo que genera riesgo e incertidumbre en los productores y en las instituciones del sector. Esa volatilidad tiene costos económicos significativos y, en los eventos extremos, puede significar pérdidas considerables. Los objetivos de esta investigación fueron identificar las fluctuaciones de la producción de los cultivos básicos en México (maíz, frijol, trigo y arroz), durante el periodo 1993-2022, así como sus patrones cíclicos y regularidades empíricas. Se aplicaron modelos econométricos de series de tiempo, el filtro dinámico Hodrick-Prescott para descomponer los ciclos y las pruebas de estacionariedad y de cointegración. Los resultados indican que el producto interno bruto (PIB) agrícola presenta ciclos cortos mientras que los ciclos de producción de los cultivos básicos son de duración media. El PIB agrícola muestra un comportamiento procíclico con el PIB total, mientras que la producción de los cultivos básicos exhibe una correlación débilmente negativa con el PIB total. Entre los cultivos analizados, el maíz y el trigo presentan menor variabilidad, mientras que el frijol y el arroz, una mayor. Estas fluctuaciones en la

producción agrícola afectan la estabilidad del sector, aumentan los riesgos y, en consecuencia, los costos de producción. Con el fin de fortalecer la seguridad alimentaria, se recomienda instrumentar políticas de aseguramiento y cobertura contra el riesgo, así como estrategias que mitiguen la volatilidad en la producción.

Palabras clave: filtro dinámico Hodrick-Prescott, pruebas de estacionariedad y cointegración.

3.2 Introducción

Los cultivos básicos son muy importantes no solo por ser esenciales en la dieta de los mexicanos sino, además, porque son el grupo de cultivos más importante dentro de la agricultura mexicana. También son los más importantes en las importaciones agrícolas; en el año 2024 se importaron 46.7 millones de toneladas de granos básicos y oleaginosas, con un valor de 17 700 millones de dólares. De maíz se importaron 23.6 millones de toneladas, de trigo 5.3, de arroz 1.03 y de frijol 0.23 (Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA), 2025).

Adicionalmente, las cantidades producidas y las cantidades importadas son fluctuantes y sus precios, variantes. Todos los factores anteriores afectan el ingreso, los costos y el riesgo que afrontan los agricultores, lo cual tiene implicaciones importantes para la economía nacional, particularmente, para la seguridad alimentaria y la balanza comercial de México.

La investigación de los ciclos económicos, tanto a nivel macroeconómico como sectorial y por grupos de cultivos, es importante en el proceso de definición de políticas económicas adecuadas y eficientes. De acuerdo con González-Estrada (2025), la investigación de los ciclos económicos es fundamental para comprender la dinámica del sector agrícola de México, su impacto en la economía y en la seguridad alimentaria del país. Particularmente, la investigación de las fluctuaciones cíclicas de los cultivos básicos permitirá comprender los factores internos y externos que influyen en la estabilidad agrícola y en sus riesgos

Estudios previos han identificado variaciones en la producción de cultivos, las cuales se relacionan estrechamente con los eventos climáticos extremos, la volatilidad de los precios internacionales y las políticas públicas inconsistentes o cambiantes (González-Estrada *et al.*, 2007 y Almendra-Arao *et al.*, 2008). La exposición al riesgo está determinada, entre otros, por el tipo de cultivo: los que participan en el comercio exterior son más sensibles a los precios internacionales, mientras que los cultivos de subsistencia dependen más de los factores climáticos (Komarek *et al.*, 2020).

Díaz Carreño *et al.* (2007) demuestra que las fluctuaciones productivas siguen patrones cíclicos estructurados y muestran autocorrelación, especialmente en cultivos integrados a mercados globales. Esta investigación tuvo como objetivos: a) identificar las fluctuaciones en la producción de los cultivos básicos en México, durante el periodo 1993-2022; b) analizar los patrones cíclicos y evaluar la relación entre los ciclos del PIB total, PIB agrícola y cultivos básicos, mediante modelos econométricos de series de tiempo y c) estudiar los riesgos subyacentes. Las hipótesis fueron: 1) la producción de los cultivos básicos tiene mayor volatilidad que el PIB total y que el PIB agrícola y 2) el riesgo de los cultivos básicos es mayor que el riesgo medio que afrontan las demás actividades económicas.

3.3 Materiales y métodos

Se recopilaron datos anuales del PIB Total, el PIB agrícola, el valor de producción total de los cuatro cultivos básicos en México: maíz, frijol, arroz y trigo, así como los correspondientes datos anuales de producción, con base en (SIAP, 2022 e INEGI 2022). Los análisis estadísticos se realizaron en el software *Econometric Views*, versión 12.

La extracción de los componentes cíclicos y de crecimiento se realizó mediante el método Hodrick y Prescott (1997), ampliamente usada en el análisis de series de tiempo macroeconómicas. De acuerdo con González-Estrada *et al.* (2007) el método descompone una serie de tiempo en dos partes: a) la tendencia secular o de crecimiento g_t y b) el componente cíclico c_t . Así: $y_t = g_t + c_t$, para $t = 1, \dots, T$, donde la serie temporal original es y_t . El correspondiente problema de

programación matemática no lineal expresado a través de la función de Lagrange es:

$$\text{Min}_{g_t} \left\{ \sum_{t=1}^T (c_t)^2 + \lambda \sum_{t=3}^T [(g_t - g_{t-1}) - (g_{t-1} - g_{t-2})]^2 \right\}$$

$$s. a: \quad y_t = g_t + c_t$$

Si L es el operador rezagado de las observaciones de una variable, entonces $Lg_t = g_{t-1}$ y $L^m g_t = g_{t-m}$, $m \in Z$ y el problema se reformula así:

$$\text{Min}_{g_t} \left\{ \sum_{t=1}^T \left\{ (y_t - g_t)^2 + \lambda \sum_{t=3}^T [(1 - L)^2 g_t]^2 \right\} \right\}$$

La condición de primer orden es:

$$0 = 2(y_t - g_t)(-1) + 2\lambda \nabla^2 g_{t+2}(1) + 2\lambda \nabla^2 g_{t+1}(-2) + 2\lambda \nabla^2 g_t(1)$$

Almendra-Arao y González-Estrada (2008), obtuvieron de esta condición los componentes de crecimiento y cíclico:

$$g_t = \frac{y_t}{1 + \lambda(1 - L)^2(1 - L^{-1})^2}; \quad c_t = \left[1 - \frac{1}{1 + \lambda(1 - L)^2(1 - L^{-1})^2} \right] y_t.$$

De acuerdo con Hodrick y Prescott (1997), si el componente cíclico y la segunda diferencia de la tendencia fueran variables independientemente distribuidas, normales con media cero y varianzas: σ_1^2 y σ_2^2 , respectivamente, entonces: $\lambda = (\sigma_1^2 / \sigma_2^2)$. Para series anuales se debe usar $\lambda = 100$.

Se aplicó el método de Harding y Pagan (2002) para determinar los ciclos económicos del PIB agrícola y del valor de producción de los cultivos básicos en México, durante el periodo 1993-2022 (INEGI, 2022), se identificaron previamente los picos y valles. Un ciclo económico se define como el periodo entre dos valles, incluyendo picos, valles, expansiones, contracciones, recuperaciones y desaceleraciones (Sánchez-Juárez 2019). La expansión ocurre cuando el PIB se

incrementa de manera consecutiva durante al menos un año, superando su valor de tendencia, alcanzando un pico.

La contracción se presenta cuando el PIB disminuye de forma sostenida por al menos un año, situándose por debajo de su tendencia, llegando a un valle. La fase de recuperación es cuando el PIB comienza a acercarse gradualmente a su nivel de tendencia. En contraste, la fase de desaceleración ocurre cuando el PIB cae por debajo de su tendencia (Sánchez-Juárez, 2019; Schumpeter, 2002).

De acuerdo con Harding y Pagan (2002), si C_t es el componente cíclico para datos anuales: a) se dice que la serie de C_t tiene un pico si se cumple: $C_{t-1} < C_t > C_{t+1}$ y b) se dice que la serie de C_t tiene un valle si se cumple: $C_{t-1} > C_t < C_{t+1}$. Las reglas de censura son: a) la fase ya sea expansión o contracción es menor a seis meses; b) los ciclos son menores a quince meses; c) si tienen picos consecutivos se elige el mayor, y d) si tienen valles consecutivos se elige el menor.

La nueva Escuela Clásica (NEC) aborda las fluctuaciones económicas con la teoría del equilibrio dinámico estocástico general de la economía y la de los ciclos económicos reales, unificando el análisis del crecimiento y los ciclos económicos (González-Estrada, 2018). Las fluctuaciones cíclicas se entienden como los comovimientos de las desviaciones respecto a la tendencia en diversas series macroeconómicas.

Prescott (1998) y Kydland y Prescott (1990 y 1982) destacan la importancia de analizar estos comovimientos respecto al PIB y su tendencia. Esto permite identificar episodios de volatilidad y cambio de fase en el ciclo económico. Según Almendra Arao (2007), para obtener la tendencia secular y su componente cíclico, dada una serie de tiempo V : a) se calcula el logaritmo LV , b) se aplica el filtro Hodrick-Prescott (1997) a LV para obtener el componente de crecimiento TV , c) se calcula el componente cíclico como: $DV = LV - TV$.

La volatilidad de una variable y_t , es la desviación estándar de su componente cíclico, respecto a su tendencia secular (Almendra-Arao y González-Estrada, 2008). El grado de comovimiento de una variable y_t con el PIB x_t , se mide por el

coeficiente de correlación de Pearson $\rho(0)$, entre el componente cíclico de la variable y_t y el componente cíclico del PIB, x_t . Si $\rho(0)$ es positivo, cero o negativo, la variable es procíclica, acíclica o contracíclica, respectivamente.

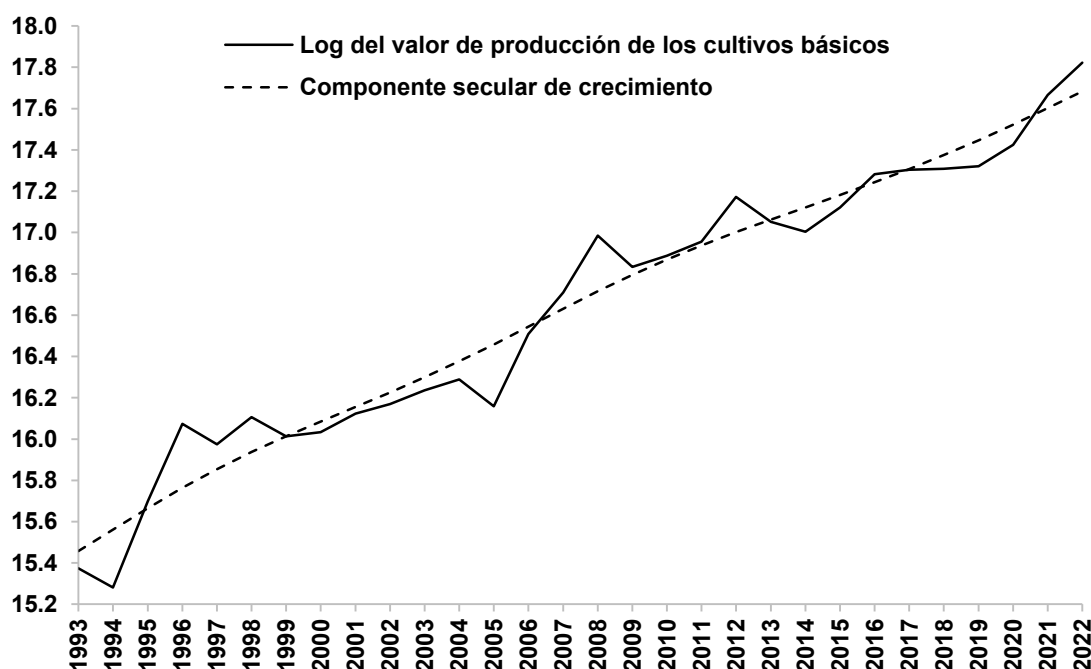
Existe un cambio de fase si el componente cíclico de una variable y_t cambia antes, al mismo tiempo o después que el componente cíclico del PIB y se calcula con los coeficientes de correlación de Pearson $\rho(j), j \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$, donde j representa el adelanto o el rezago del ciclo respecto al PIB, si $|\rho(j)|$ es máximo para un $j < 0$, el ciclo está adelantado; pero si $j = 0$, es coincidente y si $j > 0$, está rezagado (Agénor *et al.*, 2000).

Las pruebas de raíz unitarias son herramientas importantes para el análisis de series de tiempo y para determinar la estacionariedad de la serie. De acuerdo con Almendra-Arao *et al.* (2008), una serie temporal es estacionaria si la media y la autocovarianza de la serie no depende del tiempo; es integrada de orden d , y se denota $I(d)$, si después de d operaciones de diferencias, la serie es estacionaria. Hamilton (2020 y 1989), señala que las pruebas de raíces unitarias más utilizadas para investigar la estacionariedad de una serie de tiempo son: a) La prueba Dickey-Fuller aumentada (ADF); b) La prueba de Elliott-Rothenberg-Stock (ERS(DF-GLS)); c) La prueba Phillips-Perron (PP); d) La prueba Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, y Shin (KPSS); e) Prueba Elliott-Rothenberg-Stock (ERS(OLS)), y f) Prueba Ng-Perron (Ng-P).

La prueba de autocorrelación superior fue la de Breusch-Godfrey, la cual detecta la presencia de autocorrelación en los residuos de un modelo de regresión AR(p) de un ARMA (p, q) (Gujarati, 2010). Sea el modelo: AR(p): $u_t = \rho_1 u_{t-1} + \rho_2 u_{t-2} + \dots + \rho_p u_{t-p} + \varepsilon_t$. Las hipótesis nula y alternativa son: H_0 : Para todo $i = 1, \dots, p$, $\rho_i = 0$, no existe autocorrelación de ninguna orden y H_a : Existe al menos un $i = 1, \dots, p$, $\rho_i \neq 0$, para el cual existe autocorrelación de algún orden.

3.4 Resultados y discusión

Los componentes cíclicos y el crecimiento del PIB agrícola del período 1993-2022, se calcularon con el método Hodrick y Prescott (1997), con el parámetro $\lambda = 100$. Este método se aplicó a las series expresadas con logaritmos naturales: PIB total, PIB agrícola, valor de producción de los cultivos básicos en conjunto y para cada uno. Se obtuvieron la tendencia secular fluctuante y el componente cíclico de cada serie, durante el periodo de 1993-2022 (Figura 1):



Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

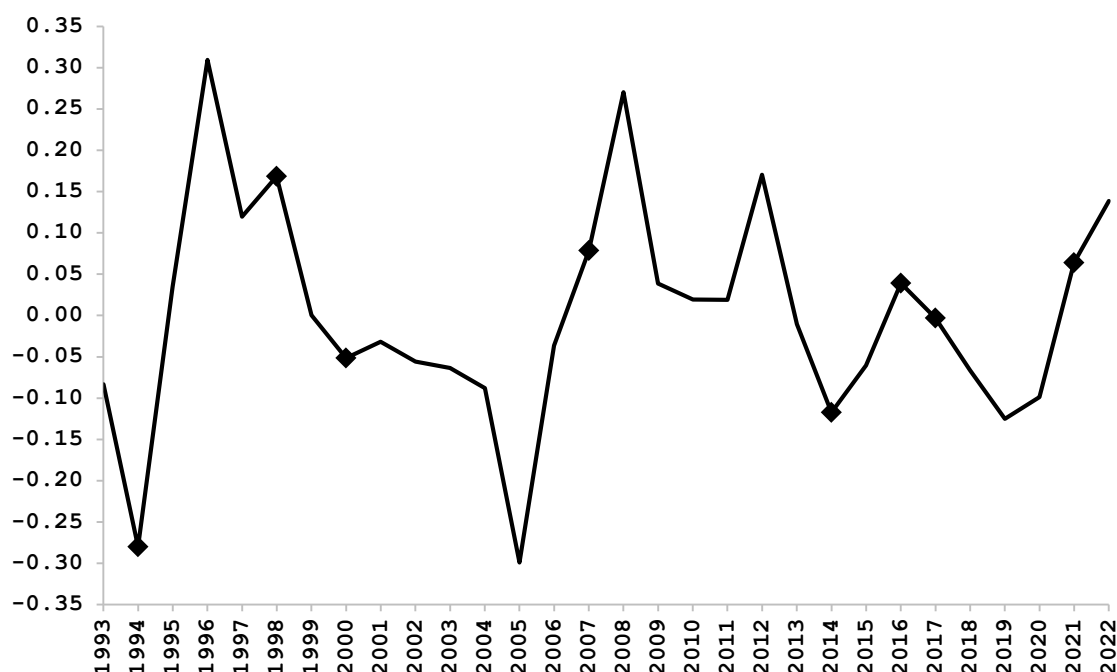
Figura 1. Valor de producción de los cultivos básicos y su componente de crecimiento.

Se observó que el PIB total tiene un crecimiento relativamente estable, mientras que el PIB agrícola y el valor de producción de los cultivos básicos son más volátiles, pero con tendencia positiva a largo plazo. Las fluctuaciones de cada uno de los cultivos básicos no son uniformes: el maíz y el trigo tienen patrones más estructurados, a diferencia del frijol, que se caracteriza por una alta volatilidad.

En el periodo 1993-2022, el PIB agrícola mostró cinco ciclos de valle a valle (VV) y cinco ciclos de cúspide a cúspide (CC). El 70.37% del tiempo estuvo en expansión

y el 29.62% estuvo en contracción. Estas fluctuaciones con duraciones medias de 4.75 y 5.4 años respectivamente, indican que el PIB agrícola dio lugar a ciclos cortos. De manera similar las pruebas de morfología en el valor de producción del maíz, frijol, trigo y arroz también identificaron este tipo de ciclos cortos.

El valor de producción de los cultivos básicos de 1993-2022, se identificaron tres ciclos de (VV) y cinco ciclos de (CC). El 62.96% estuvo en expansión y el 37.03% estuvo en contracción. Estas fluctuaciones con duraciones medias de 7.6 y 7.66 años, indica que los ciclos fueron de mediano plazo o de tipo Juglar, como se observa en la Figura 2:



Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Figura 2. Depresiones y auges, contracciones y recuperaciones del valor de producción de los cultivos básicos de México.

En los cuadros 1 y 2 se muestra que las fluctuaciones del valor de producción de los cultivos básicos son irregulares, tienen distinta magnitud, amplitud y longitud, pero no son periódicas ni simétricas; lo mismo ocurre con las fluctuaciones del PIB agrícola y el valor de producción de los cultivos de manera independiente (maíz, frijol, trigo y arroz).

Cuadro 1. Estadísticas básicas del ciclo del valor de producción de los cultivos básicos de México de valle a valle.

Ciclo valle – valle	Media	Desvia ción estánd ar	Mínimo	Median a	Máxi- mo	Curtosi s	Coef. de asimetr ía
1994- 2000	0.0431	0.1861	-0.2800	0.0350	0.3094	0.9414	-0.4827
2000- 2014	-0.0106	0.1287	-0.2990	-0.0319	0.2703	2.0200	0.1131
2014- 2017	-0.0354	0.0683	-0.1174	-0.0317	0.0393	-1.5520	-0.2449

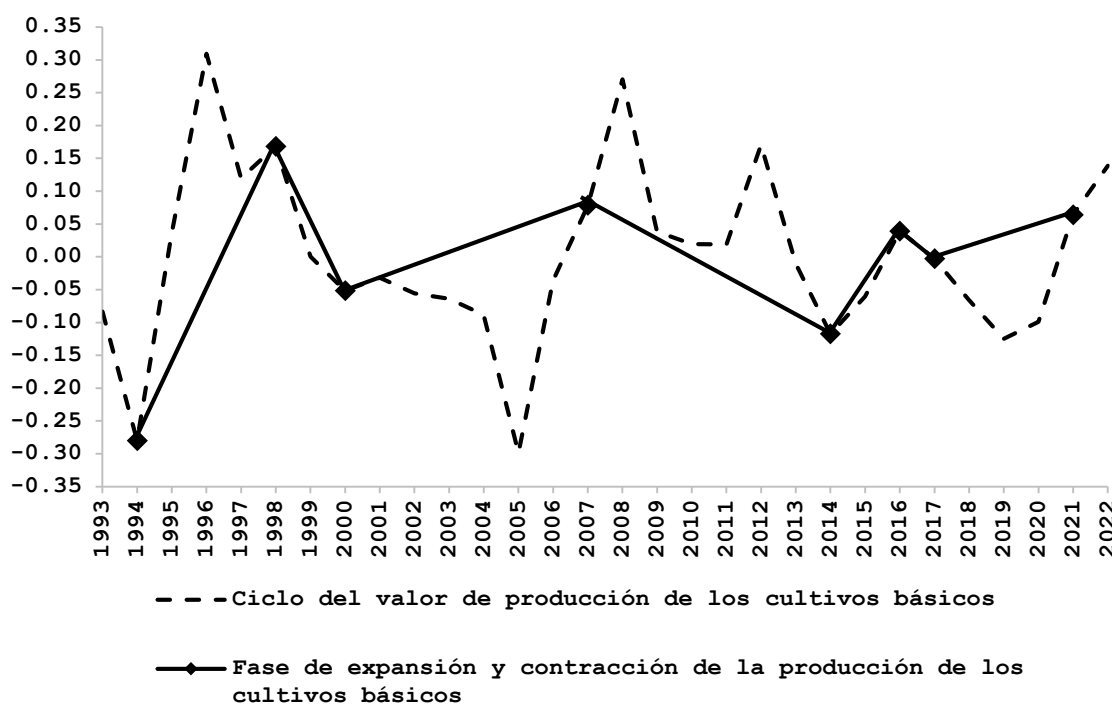
Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Cuadro 2. Estadísticas básicas del ciclo del valor de producción de los cultivos básicos de México de cúspide a cúspide.

Ciclo cúspide- cúspide	Media	Desvia ción estánd ar	Mínimo	Median a	Máxim o	Curtosi s	Coeficien te de asimetría
1998- 2007	-0.0379	0.1199	-0.2990	-0.0440	0.1683	2.6746	-0.6079
2007- 2016	0.0447	0.1104	-0.1174	0.0290	0.2703	1.0563	0.8148
2016- 2021	-0.0316	0.0767	-0.1249	-0.0346	0.0640	-2.0576	0.0637

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Los ciclos representan las regularidades de las fluctuaciones. Las fases de los ciclos agrícolas y el valor de producción de los granos básicos de México son irregulares: no son periódicos, ni simétricos. De acuerdo con González-Estrada y Almendra-Arao (2007); Almendra-Arao, González-Estrada y Mora-Flores (2008), esas mismas características se observan en los ciclos económicos de la economía mexicana (Figura 3).



Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Figura 3. Recuperaciones, auges, recesiones y depresiones del valor de producción de los cultivos básicos de México.

La desviación estándar del valor de los cultivos básicos es (0.1335) y la del PIB agrícola (0.030), por lo que el valor de producción de los cultivos básicos es cuatro veces más volátil que el PIB agrícola.

Se evaluó la desviación estándar del maíz, frijol, trigo y arroz, con relación al valor de producción total y se observó, contrariamente a lo esperado, que: a) el maíz tiene

menor volatilidad (0.9844), que lo hace el más estable de los cultivos básicos, y b) el arroz es el más inestable, con una volatilidad de (1.7909).

El PIB agrícola presenta una fluctuación procíclica respecto al PIB (coeficiente de correlación (cc). = 0.3530). El valor de producción de los cultivos básicos y el PIB agrícola también es procíclico (cc = 0.2572). Sin embargo, el valor de producción de los cultivos básicos y el PIB tienen una relación acíclica (cc = -0.1048).

El coeficiente de correlación entre los ciclos del valor de producción de los cultivos básicos y de cada componente: maíz, frijol, trigo, arroz, presentan valores positivos y en consecuencia son procíclicos.

El cambio de fase del cíclico del PIB y el valor de la producción de los cultivos básicos es negativo, indicando tendencias opuestas. El ciclo del PIB agrícola y el valor de producción de los granos básicos tienen un cambio de fase positivo y se mueven en la misma dirección (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de correlación cruzada del componente cíclico (Cc) del PIB agrícola y del componente cíclico del valor de producción de los cultivos básicos (VPCB).

	X(t-5)	X(t-4)	X(t-3)	X(t-2)	X(t-1)	X(t)	X(t+1)	X(t+2)	X(t+3)	X(t+4)	X(t+5)
Cc del VPCB	0.18	-	-	-	-	0.25	-	-	-	0.138	0.184
	3	2	4	1	9	7	0.129	0.122	0.071		

Nota: Cc del VPCB significa: Componente cíclico del valor de producción de los cultivos básicos.
Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Los análisis de la prueba de estacionariedad del valor de producción de los cultivos básicos y de cada cultivo: maíz, frijol, trigo y arroz, indican que la mayoría de las series son estacionarias a distintos niveles de confianza y que son variables

integradas de orden $I(0)$. Sin embargo, en el trigo se observa que la variable es integrada de orden $I(1)$.

Para analizar la relación a largo plazo entre los ciclos del PIB y los del PIB agrícola, se realizó una regresión de mínimos cuadrados ordinarios, se obtuvieron los residuales y se realizó un proceso autorregresivo de orden cuatro y se aplicó la prueba Breusch-Godfrey. El vector de cointegración de los ciclos del PIB de la economía y del PIB agrícola, calculado con base en Engle y Granger (1987), es: (1, 0.35757), y la ecuación de cointegración es: $Ciclo\ del\ PIB = 0.35757 \times Ciclo\ del\ PIB\ agrícola$ (Figura 4).

Cuadro 4. Prueba Breusch-Godfrey de contrastes.

Estadístico F	3.65204	Prob. F(2,26)	0.0400
R ²	6.57945	Prob. Chi-R ² (2)	0.0373

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Dado que el valor $(n - p)R^2 > \chi_p^2(\alpha)$, se rechaza H_0 , lo cual indica autocorrelación serial. Se encontró ausencia de autocorrelación entre: a) el PIB agrícola y los cultivos básicos y c) entre los cultivos básicos.

3.5 Conclusiones

El valor de producción de los cultivos básicos es fluctuante y cuatro veces más volátil que el PIB agrícola, por lo que los costos del riesgo son mayores. Se presentaron ciclos cortos en el PIB agrícola y en el valor de producción del maíz, frijol, trigo y arroz y ciclos de duración media en el valor agregado de producción de los cultivos básicos. Las fluctuaciones del valor de producción de los cultivos básicos tienen una relación procíclica con el PIB agrícola y acíclica con el PIB. El frijol y el arroz muestran mayor volatilidad que el maíz y el trigo, debido a que están relativamente más influenciados por las políticas agrícolas, el comercio exterior y las condiciones climáticas. Las pruebas de estacionariedad y cointegración confirman que no existe entre los cultivos básicos una relación a largo plazo.

Los productores de los distintos cultivos básicos no enfrentan el riesgo de forma homogénea, lo que refuerza la necesidad de diseñar políticas de cobertura diferenciadas, con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico del país.

3.6 Referencias bibliográficas

1. Agénor, P.R., C.J. McDermott, and E.S. Prasad. (2000). Macroeconomic fluctuations in developing countries: Some stylized facts. *The World Bank Economic Review*, 14(2): 251–285.
2. Almendra Arao, G. (2007). *Las Fluctuaciones Cíclicas de la Economía Mexicana*. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos, Estado de México: 147p.
3. Almendra-Arao, G., y A. González-Estrada. (2008). Soluciones explícitas para el filtro estadístico Hodrick-Prescott. *Rev. Mex. Econ. Agríc. Rec. Nat*, 1(1): 105–115.
4. Almendra-Arao, G., A. González-Estrada y J.S. Mora-Flores. (2008). Los ciclos económicos de México y sus regularidades empíricas. *Agrociencia*, 42(3): 299-3.
5. Díaz-Carreño, M. Á., Juárez-Toledo, R., y Gómez-Chagoya, M. D. C. (2007). Conformación de una cartera de inversión óptima de cultivos agrícolas para México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 7(25): 49-63.
6. Engle, R.F., and C.W.J. Granger. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica* 55: 251-276.
7. González-Estrada, A. (2025). *Programación Dinámica con Aplicaciones a la Economía*. Ediciones Mix Ba'al. Chapingo, México: 612 p.
8. González-Estrada, A. (2018). *Teorías Macroeconómicas Actuales*. Ediciones Mix Ba'al. Chapingo, México: 192p.

9. González-Estrada, A. y G. Almendra-Arao. (2007). Nuevo método para la identificación de los ciclos económicos. *Investigación Económica*. Vol. LXVI. Número 261:13-33.
10. Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA). (2025). Compras de granos y oleaginosas. Entrevista concedida a Juan Carbajal y publicada en la Jornada el 16 de enero. Ciudad de México.
11. Gujarati, D.N. (2010). *Essentials of Econometrics*. SAGE Publications. Thousand Oaks, CA: 412-466 p.
12. Hamilton, J.D. (2020). *Time Series Analysis*. Princeton University Press. New Jersey: 475-543p.
13. Hamilton, J.D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica* 57(2): 357-384.
14. Harding, D., and A. Pagan. (2002). Dissecting the cycle: A methodological investigation. *Journal of Monetary Economics*, 49(2): 365–381.
15. Hodrick, R.J., and E.C. Prescott. (1997). Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29(1): 1–16.
16. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). (2022). Economía y Sectores Productivos. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/#tabulados>
17. Kydland, F.E., and E.C. Prescott. (1990). Business cycles: Real facts and a monetary myth. *Quarterly Review*, Federal Reserve Bank of Minneapolis 14(2): 3-18.
18. Kydland, F.E., and E.C. Prescott. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica* 50(6): 1345-1370.
19. Komarek, A.M., De Pinto, A., y Smith, V.H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural*

Systems, 178 (102738).

20. Prescott, Edward C. (1998). Business cycle research: methods and problems. Working paper 590. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Minneapolis, MN.
21. Sánchez, I. (2019). Ciclos económicos en México: Identificación, profundidad y duración. *Revista de Economía UNAM*, 16(47): 93-108.
22. Schumpeter, J.A. (2002). Ciclos económicos: análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista. *Prensas Universitarias*. Zaragoza, España, vol. 5: 459-477.
23. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. Ciudad de México.

4 COINTEGRACIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA DE LOS CULTIVOS BÁSICOS DE MÉXICO

Dora Eloisa Dominguez Lopez¹ Adrián González Estrada², Miguel Ángel Martínez Damián³, Diana América Reyna Izaguirre⁴.

^{1,4} Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. (lopezdora0506@gmail.com) y (dreynai@chapingo.mx).

²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Texcoco, km 13.5, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250. (adrglez@prodigy.net.mx).

³Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56264. (angel24559@gmail.com).

Autor para correspondencia: Adrián González Estrada, adrglez@prodigy.net.mx.

4.1 Resumen

Se investigó la relación de largo plazo entre la oferta, la demanda y la producción de los cultivos básicos de México (maíz, frijol, trigo y arroz), durante el periodo 1993-2022. Se aplicó el método estadístico de cointegración de Johansen y los modelos vectoriales de corrección de errores (VECM) para investigar los determinantes económicos, demográficos y climáticos que inciden sobre la dinámica agrícola nacional. En el modelo de oferta, se identificaron efectos negativos y significativos del precio de los cultivos sustitutos y la temperatura, lo que evidencia la sensibilidad de la producción ante factores competitivos y climáticos. En el modelo de demanda, el precio medio rural de los cultivos básicos tuvo un efecto negativo, mientras que el ingreso *per cápita* presentó una elasticidad positiva y significativa, en congruencia con la teoría microeconómica. Los resultados confirmaron la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo y de mecanismos de ajuste intertemporal en ambos modelos, lo que valida el enfoque estructural aplicado. Los resultados respaldan la necesidad de diseñar políticas agrícolas que integren el manejo del

riesgo climático, la estabilización de los precios relativos y el crecimiento agrícola con innovaciones tecnológicas, para desarrollar un sistema agroalimentario avanzado, eficiente, sostenible y resiliente.

Palabras clave: Cointegración, raíz unitaria, modelos vectoriales de corrección de errores.

4.2 Introducción

La producción de los cultivos básicos representa un componente fundamental para garantizar la seguridad alimentaria, el bienestar social y la estabilidad macroeconómica de México. El maíz, frijol, trigo y arroz constituyen no solo pilares del consumo nacional, sino también elementos esenciales en la configuración del sistema agrícola mexicano. De acuerdo con estimaciones de la FAO (2021), México produce alrededor de 27 millones de toneladas anuales de estos cultivos; por su parte el Departamento de Agricultura de Estados Unidos estima una producción cercana a 25.8 millones de toneladas para el ciclo 2024-2025 (USDA, 2024). A su vez, el sector agrícola representó el 3.82% del PIB nacional en 2023, evidenciando su peso económico. Además de su contribución al PIB, estos cultivos forman parte esencial de la dieta mexicana y del sustento de millones de productores rurales, por lo que cualquier desajuste entre su oferta y demanda tiene implicaciones directas en el bienestar de la población.

Desde la perspectiva de la oferta, diversos factores estructurales y coyunturales determinan la cantidad producida. Entre ellos destacan el precio del cultivo, la presencia del cultivo sustitutos, las condiciones climáticas y las políticas agrícolas vigentes. La temperatura, en particular, son componentes críticos en el rendimiento agrícola, como han demostrado estudios en Tailandia (Kyaw *et al.*, 2023) y Vietnam (Le y Bentzen, 2025), donde se identificaron relaciones negativas y significativas entre la variabilidad climática y la productividad. En el caso de México, eventos extremos como las sequías y olas de calor han reducido la producción de cultivos hasta un 60% en algunas regiones agrícolas del país (FAO, 2021). Estas evidencias subrayan que el cambio climático no es un factor exógeno menor, sino un riesgo

sistémico para la producción agrícola nacional, capaz de afectar drásticamente la oferta de alimentos básicos. Por otra parte, a nivel tecnológico e institucional, factores como el acceso limitado a sistemas de riego, la degradación de suelos y la insuficiente transferencia de innovaciones agronómicas también pueden limitar la respuesta de la oferta ante incentivos de precios.

La demanda de los cultivos básicos está determinada por variables como el precio de cultivo, el ingreso per cápita y el crecimiento de la población que complementan la oferta interna. En estudios nacionales se han observado elasticidades ingreso positivas el maíz (García *et al.*, 2024) lo que indican que este producto sigue siendo un bien normal; es decir, su consumo aumenta conforme lo hace el ingreso. Además, la apertura comercial, especialmente bajo el Tratado de Libre Comercio (TLCAN) y el Tratado México-Estados Unidos y Canadá (T-MEC), ha modificado la dinámica de los mercados agrícolas, generando una mayor exposición de la producción nacional a precios internacionales y a la competencia externa, especialmente de Estados Unidos.

En este contexto, el análisis económico de la oferta y la demanda no puede limitarse a relaciones estáticas o parciales. Estudios recientes destacan la necesidad de considerar relaciones de largo plazo y mecanismos de ajuste intertemporal, donde las variables económicas (precio, ingreso, etc.) y factores climáticos están cointegradas en una trayectoria conjunta (Johansen, 1995; Enders, 2015). Las perturbaciones que afectan al sistema agrícola, podrían tener efectos transitorios que se corrigen con el tiempo si existe un equilibrio de largo plazo entre la oferta, la demanda y sus determinantes. El enfoque de modelos vectoriales de corrección de errores (VECM) resulta apropiado para este tipo de análisis, pues permite identificar simultáneamente las relaciones de equilibrio de largo plazo (cointegración) y la dinámica de ajuste a corto plazo hacia ese equilibrio. Aunque en el ámbito internacional los VECM se han utilizado ampliamente para estudiar mercados agrícolas integrados su aplicación en el caso mexicano es todavía limitada.

Esta investigación busca llenar dichas lagunas, mediante el análisis estadístico de la cointegración de la oferta, la demanda y el valor de la producción de los cultivos

básicos de México, durante el periodo 1993-2022. Se aplicó la metodología de Johansen para pruebas de raíz unitaria y cointegración, seguida de la estimación de los modelos VECM, con el fin de captar tanto las relaciones de largo plazo, como los mecanismos de ajuste ante los desequilibrios de corto plazo.

Se planteó la hipótesis de que existen relaciones de equilibrio de largo plazo entre la producción de los cultivos básicos de México y sus principales determinantes económicos, demográficos y climáticos.

4.3 Discusión teórica

Las relaciones económicas y sociales del sector agrícola dependen de factores estructurales, institucionales y contextuales que influyen en la asignación de recursos. Por lo tanto, las decisiones de producción y consumo no se explican únicamente por los precios relativos, sino también por condiciones demográficas, climáticas, tecnológicas y de política pública (Barrett, 2021; Timmer, 2009). La teoría económica sugiere que los agricultores maximizan su utilidad o beneficios bajo ciertas restricciones (teoría del productor), mientras que las familias consumidoras maximizan su bienestar sujeto a su ingreso (teoría del consumidor). Sin embargo, en la práctica estas decisiones se dan en un entorno complejo donde intervienen, además de los precios, elementos como riesgos climáticos, restricciones crediticias, políticas de apoyo gubernamental e infraestructura disponible.

Tradicionalmente, el estudio de mercados agrícolas se ha abordado mediante modelos de equilibrio parcial o de ecuaciones simultáneas de oferta y demanda, los cuales suelen asumir que el mercado se vacía periódicamente y que las relaciones estimadas son esencialmente estáticas. Si bien estos enfoques aportan información valiosa, resultan limitados cuando la serie de tiempo exhibe tendencias o cambios estructurales. En particular, muchas variables agrícolas presentan no estacionariedad, debido al crecimiento poblacional, el cambio tecnológico o tendencia climáticas, lo que puede llevar a estimaciones espurias si no se trata adecuadamente. El análisis de relaciones de largo plazo mediante modelos de cointegración permite superar las limitaciones de los enfoques estocásticos que han

prevalecido en el estudio de los mercados agrícolas. Tal como lo plantea Johansen (1995) y Enders (2015), si dos o más series no son estacionarias, pero están cointegradas, entonces existe una combinación lineal de ellas que es estacionaria, lo que implica una relación de equilibrio estable a largo plazo. Los modelos vectoriales de corrección de errores (VECM) permiten analizar sistemas económicos dinámicos, donde las variables evolucionan conjuntamente y tienden a un equilibrio intertemporal mediante mecanismos de ajuste.

En el ámbito microeconómico, este trabajo retoma los fundamentos de la teoría del consumidor y del productor, para formular las ecuaciones de la oferta y la demanda. El modelo aplicado para la oferta asume que los productores responden a incentivos de precios de manera racional, aunque con posibles rezagos debido a la estacionalidad y a la planificación de cultivos. Se utiliza una función de producción Cobb Douglas basada en elasticidades-precio. Mientras que el modelo de demanda supone que todos los cultivos básicos son bienes normales, cuyo consumo aumenta cuando incrementa el ingreso de las familias, pero disminuye cuando sube su propio precio (Nicholson y Snyder, 2015). La presencia de bienes sustitutos en el consumo implica que cambios en los precios relativos pueden variar el consumo entre bienes. De igual manera, el crecimiento de la población expande la demanda total, aunque su efecto puede interactuar con cambios en las preferencias alimentarias a lo largo del tiempo.

La incorporación de variables climáticas, como la temperatura, se justifica desde la perspectiva de la economía ecológica, que reconoce la interdependencia entre los sistemas productivos y el entorno biofísico. Diversos estudios han demostrado que el cambio climático impacta de forma significativa la productividad agrícola y el equilibrio estructural de los sistemas agrícolas (IPCC, 2022; Le y Bentzen, 2025; Kyaw *et al.*, 2023). En el contexto de la teoría económica, las condiciones climáticas adversas pueden considerarse choques de oferta e incluso choques de demanda, ignorar estos factores podría conducir a modelos incompletos o sesgados en la medición de elasticidades.

En México, el enfoque estructural resulta especialmente pertinente debido a las diferencias en la productividad, la desigualdad por regiones, la alta exposición a choques externos como tratados comerciales o fenómenos climáticos extremos. Las políticas agrícolas internas configuran un entorno institucional que puede amortiguar o amplificar las señales del mercado. Por ende, es de suma importancia integrar variables institucionales y políticas públicas en los modelos de análisis de oferta y demanda agrícola (Gonzalez-Estrada, 2003; CONEVAL, 2020), así como considerar la dinámica global para reflejar adecuadamente las condiciones bajo las cuales operan los productores y consumidores mexicanos.

En general, la metodología empleada permite identificar relaciones estables de largo plazo y simular mecanismos de ajuste frente a desequilibrios en el sector agroalimentario, lo que brinda una base empírica sólida para evaluar hipótesis económicas y para proponer políticas públicas orientadas a la sostenibilidad y resiliencia del sector agrícola.

4.4 Metodología

El análisis de cointegración se realizó con series anuales de 1993-2022, integrando variables de oferta y demanda. La fuente principal para algunas variables fue el SIAP (2022), complementada con las informaciones del Banco Mundial (2022), FOASTAT (2022) y CONAGUA (2022). El análisis estadístico se realizó con el *software Econometric Views*, versión 12.

Para obtener el índice de la cantidad de producción agrícola de los cultivos básicos de México (maíz, frijol, trigo y arroz), se usaron precios normalizados y una agregación una función de elasticidad de sustitución constante, homogénea de grado uno.

En el modelo de la oferta, la variable dependiente fue la producción agrícola de los cultivos básicos de México (PACB), mientras que las variables independientes fueron el precio medio rural del cultivo (PMR), precio del cultivo sustituto (PRS) y temperatura media anual (TEMP):

$$\log(\text{PACB}_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \log(\text{PMR}_t) + \alpha_2 \log(\text{PRS}_t) + \alpha_3 \log(\text{TEMP}) + \varepsilon_t$$

Para el modelo de demanda se consideró el (PACB) como variable dependiente, explicada por el PMR, precio del cultivo sustituto (PRS), ingreso *per cápita* (GDP) y población total (POB) del cultivo. El modelo de la demanda es:

$$\log(\text{PACB}_t) = \beta_0 + \beta_1 \log(\text{PMR}_t) + \beta_2 \log(\text{PRS}_t) + \beta_3 \log(\text{POB}_t) + \beta_4 \log(\text{GDP}_t) + \varepsilon_t$$

Todas las variables fueron transformadas en logaritmos, lo que tiene dos ventajas analíticas: a) linealizar las relaciones funcionales tipo Cobb-Douglas y b) hacer posible la interpretación de los coeficientes como elasticidades; es decir, cambios porcentuales en las variables dependientes ante variaciones en las independientes (Nicholson y Snyder, 2015). Además, esta transformación reduce problemas de heterocedasticidad y facilita la comparación entre cultivos con escalas distintas (Wooldridge, 2016).

Se evaluó la estacionariedad mediante las pruebas Dickey-Fuller aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP). La prueba ADF considera un modelo autorregresivo con rezagos de la variable dependiente para controlar autocorrelación, mientras PP ajusta los errores estándar para robustecer la prueba frente a heterocedasticidad (Dickey y Fuller, 1979; Phillips y Perron, 1988).

La hipótesis nula en ambas pruebas es la existencia de una raíz unitaria (no estacionariedad). Si no se puede rechazar esta hipótesis en nivel, pero sí en primeras diferencias, se concluye que la serie es integrada de orden $I(1)$. Esta condición es indispensable para aplicar la metodología de cointegración de Johansen, ya que requiere que todas las variables sean no estacionarias pero integradas del mismo orden (Enders, 2015; Engel y Granger, 1987).

Las pruebas se realizaron considerando modelos con ordenada al origen y tendencia, dado que las series agrícolas presentan crecimiento secular o efectos estacionales acumulativos (Lütkepohl, 2005).

La prueba de Johansen fue aplicada a cada sistema de variables para la oferta y la demanda, con base en el enfoque de máxima verosimilitud para sistemas VAR con

series I(1). Esta prueba permite identificar el número de vectores cointegrantes “r”; es decir, combinaciones lineales de las variables que son estacionarias y que representan equilibrios de largo plazo (Johansen y Juselius, 1990).

Se utilizaron como datos estadísticos: la traza y el máximo valor característico o propio. La hipótesis nula evalúa si hay r o menos vectores cointegrantes, mientras que la alternativa considera (r+1) o más. La decisión se basa en el contraste de estos estadísticos frente a valores críticos simulados, al nivel de significancia del 5% (Johansen, 1995). Si se detecta al menos un vector cointegrante, se interpreta que las variables del sistema tienen una relación de equilibrio de largo plazo y que los desequilibrios tienden a corregirse, lo cual valida el uso de un modelo de corrección de errores.

Una vez determinando el número de variables de cointegración, se reparametrizó el modelo VAR como un modelo de corrección de errores vectoriales (VECM). Este modelo incluye un término de error de cointegración que representa el desequilibrio del periodo anterior y mide la velocidad con que las variables regresan el equilibrio (Engle y Granger, 1987). La fórmula de VECM es:

$$\Delta Y_t = \alpha \beta' Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

donde Y_t es el vector de variables endógenas, α los coeficientes de ajuste, y β' el vector cointegrante. El signo y magnitud de término de corrección de errores es esencial para determinar si el sistema converge o no hacia el equilibrio y si converge, con qué velocidad.

Se estimó un modelo VECM para la oferta y la demanda, evaluando tanto la significancia de los coeficientes de largo plazo como las elasticidades de corto plazo. Se consideraron las pruebas de significancia individual y global, así como la estabilidad del modelo.

4.5 Resultados

Se aplicaron las pruebas Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP), para las variables de nivel y primeras diferencias. En nivel, la mayoría de las variables no rechazaron la hipótesis nula de raíz unitaria (Cuadro 1), lo que indica que son no estacionarias. Sin embargo, al aplicar las pruebas en primeras diferencias (Cuadro 2), todas las series resultaron estacionarias al 5%, es decir, son integradas de orden $I(1)$. Este resultado valida la aplicación del enfoque de cointegración de Johansen.

Cuadro 5. Prueba de raíces unitarias ADF y PP en nivel.

Variable	Dickey-Fuller Aumentada			Phillips-Perron			Conclusión
	Estadístico t	tc 5%	Prob.*	Estadístico t	tc 5%	Prob.*	
PACB	-3.9978	-3.5742	0.0202	-3.9785	-3.5742	0.0211	Raíz unitaria
PMR	-2.7598	-3.5742	0.2222	-2.6156	-3.5742	0.2765	Raíz unitaria
PRS	-3.3874	-3.5742	0.0728	-3.2351	-3.5742	0.0975	Raíz unitaria
TEMP	-3.8503	-3.5806	0.0285	-2.1109	-3.5742	0.5185	Raíz unitaria
POB	0.7314	-3.6220	0.9993	1.2450	-3.5742	0.9999	Raíz unitaria
GDP	-2.2715	-3.5742	0.4352	-2.2715	-3.5742	0.4352	Raíz unitaria

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Cuadro 6. Prueba de raíces unitarias ADF y PP en primeras diferencias.

Variable	Dickey-Fuller Aumentada			Phillips-Perron			Conclusión
	Estadístico t	tc 5%	Prob.*	Estadístico t	tc 5%	Prob.*	
PACB	-8.4882	-3.5806	0.0000	-10.5725	-3.5806	0.0000	Estacionaria
PMR	-5.0172	-3.5806	0.0020	-5.0280	-3.5806	0.0019	Estacionaria
PRS	-5.9955	-3.5875	0.0002	-5.3683	-3.5806	0.0009	Estacionaria
TEMP	-4.4317	-3.5806	0.0078	-4.5429	-3.5806	0.0060	Estacionaria

POB	-6.5919	-3.6220	0.0001	-1.4476	-3.5806	0.8234	Estacionaria (ADF)
GDP	-5.2074	-3.5806	0.0013	-5.5654	-3.5806	0.0005	Estacionaria

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

Para determinar el número óptimo de rezagos en el modelo VAR de la oferta, se aplicaron los criterios de información de Akaike (AIC), Schwarz (BIC) y Hannan-Quinn (HQ), de acuerdo con las recomendaciones de Sims (1980) y Mata (2004). Los resultados mostraron que tanto AIC y HQ coincidieron en sugerir un rezago óptimo de cuatro, mientras que el BIC indicó un rezago menor. Dado que AIC y HQ son más adecuados se optó por mantener cuatro rezagos (Cuadro 3).

Cuadro 7. Prueba de longitud de rezago para el modelo VAR de la oferta.

Rezago	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	1.90E-09	-8.730332	-8.343226	-8.61886
1	83.35000*	1.04E-10	-11.66706	-10.50574*	-11.33265
2	17.08031	1.40E-10	-11.50381	-9.56828	-10.94645
3	11.72811	2.54E-10	-11.25039	-8.54064	-10.47008
4	24.61022	8.68e-11*	-13.09589*	-9.611935	-12.09264*

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

En el modelo de la demanda, los tres criterios coincidieron en seleccionar un rezago de cuatro, lo que proporcionó mayor robustez a la decisión y confirmó la consistencia del modelo en términos dinámicos (Cuadro 4).

Cuadro 8. Prueba de longitud de rezago para el modelo VAR de la demanda.

Rezago	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	1.19E-11	-10.96545	-10.48156	-10.82611
1	175.0417	8.69E-15	-18.25509	-16.5615	-17.7674
2	54.16787	1.69E-15	-20.20115	-17.29785	-19.3651

3	27.81367	1.30E-15	-21.36848	-17.25547	-20.18408
4	124.2535*	4.20e-27*	-50.50877*	-45.18605*	-48.97602*

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

La prueba traza identificó hasta dos relaciones de cointegración en las variables del modelo de oferta. En primer lugar se rechazó la hipótesis nulas de “ninguno” y “máximo uno” vector cointegrante, ya que los valores estadísticos de la traza superaron calores críticos al nivel del 5%, con niveles de significancia del 0.0093 y 0.0430, respectivamente. Sin embargo, no se rechaza la hipótesis nula para “máximo dos” vectores cointegrantes. Esto implica que el número máximo de vectores cointegrantes es dos (Cuadro 5).

Cuadro 9. Prueba Traza, análisis de cointegración de la oferta.

Hipótesis nula, número de vectores de cointegración	Raíz característica	Estadístico de la Traza	0.05 valor crítico	Prob.**
Ninguno *	0.5982	54.9794	47.8561	0.0093
Máximo 1 *	0.5132	30.3638	29.7971	0.0430
Máximo 2	0.3286	10.9241	15.4947	0.2162
Máximo 3	0.0062	0.1686	3.8415	0.6813

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

La prueba del valor propio máximo fue más conservadora y únicamente rechaza la hipótesis nula de no cointegración ($p=0.1146$), lo cual sugiere la existencia de un único vector cointegrante. Esta diferencia entre pruebas es común en estudios empíricos (Johansen, 1995) y, en estos casos, se recomienda seguir la evidencia más robusta o adoptar un criterio teórico para decidir cuántas relaciones se deben incluir en el modelo VEC (Cuadro 6).

Cuadro 10. Prueba de la raíz característica máxima y análisis de cointegración de la oferta.

Hipótesis nula, número de vectores de cointegración	Raíz de característica	Estadístico Max. Eiunge	0.05 valor crítico	Prob.**
Ninguno *	0.5982	24.6156	27.5843	0.1146
Máximo 1	0.5132	19.4397	21.1316	0.0848
Máximo 2	0.3286	10.7555	14.2646	0.1669
Máximo 3	0.0062	0.1686	3.8415	0.6813

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

La prueba traza evidenció la existencia de multiples relaciones de cointegración entre las variables del modelo de demanda. Se rechazaron de forma consecutiva todas las hipotesis nulas, desde “ninguno” hasta “maximo cuatro” vectores cointegrantes, con valores de probabilidad inferiores a 0.01 en todos los casos (Cuadro 7).

Cuadro 11. Prueba de la traza y análisis de cointegración de la demanda.

Hipótesis nula, número de vectores de cointegración	Raíz característica	Estadístico de la Traza	0.05 valor crítico	Prob.**
Ninguno *	0.8494	144.0132	69.8189	0.0000
Máximo 1 *	0.7418	92.8981	47.8561	0.0000
Máximo 2 *	0.6558	56.3442	29.7971	0.0000
Máximo 3 *	0.5192	27.5442	15.4947	0.0005
Máximo 4 *	0.2502	7.7736	3.8415	0.0053

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

La prueba de valor propio confirmó estos hallazgos, por lo que se rechazaron todas las hipótesis nulas hasta “maximo cuatro”, con niveles robustos de significancia (Cuadro 8). Estos resultados refuerzan la validez del modelo de cointegración aplicado y sugiere una estructura de largo plazo estable en la demanda agregada de cultivos básicos en México.

Cuadro 12. Prueba de Eigenvalor Máximo, análisis de cointegración de la demanda.

Hipótesis nula, número de vectores de cointegración	Raíz característica	Estadístico Max. Eigen	0.05 valor crítico	Prob.**
Ninguno *	0.8494	51.1151	33.8769	0.0002
Máximo 1 *	0.7418	36.5539	27.5843	0.0027
Máximo 2 *	0.6558	28.8000	21.1316	0.0034
Máximo 3 *	0.5192	19.7707	14.2646	0.0061
Máximo 4 *	0.2502	7.7736	3.8415	0.0053

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

En los coeficientes del modelo VECM normalizado para la oferta se observa que el precio del cultivo no resulta significativo (-0.1803), lo que podría deberse a distorsiones del mercado o mecanismos de fijación de precios que debilitan su efecto sobre la producción. En cambio, el precio del bien sustituto (0.355) tiene un nivel de significancia marginal, lo cual sugiere que a mayor precio del sustituto se incentiva la producción del cultivo principal. La temperatura (-10.229), tienen efectos negativos y significativos sobre la oferta, lo que sugiere que mayores temperaturas y precios alternativos reducen la producción de los cultivos básicos (Cuadro 9). Por lo tanto, el modelo de la oferta estimado es:

$$\log(\text{VPACB}_t) = 13.062 - 0.180 \log(\text{PMR}_t) + 0.355 \log(\text{PRS}_t) - 10.229 \log(\text{TEMP}_t)$$

Cuadro 13. Modelo de vector de corrección de errores normalizados de la oferta.

Ecuación de cointegración CointEq1	
LGPACB(-1)	1
LGPMR(-1)	-0.1804
	(0.2359)
	[-0.7646]
LGPRS(-1)	0.3551
	(0.2161)
	[1.6433]
LGTEMP(-1)	-10.2295
	(1.6984)
	[-6.0228]
C	13.0626

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

En el modelo VECM de la demanda, el precio del cultivo tiene un efecto negativo significativo (-0.589) sobre el valor de producción, lo que concuerda con la teoría microeconómica de la demanda (Nicholson y Snyder, 2015). El ingreso per cápita muestra un coeficiente positivo (0.646) y altamente significativo, lo que indica una relación elástica y proporcional entre el ingreso y la demanda de los cultivos. Por el contrario, la población tiene un efecto negativo (-3.989), posiblemente asociado a colinealidad o a cambios en los patrones de consumo. El precio del bien sustituto influye positivamente (0.569), lo que expresa la existencia de un efecto de sustitución entre bienes (Cuadro 10). El modelo estimado para la demanda es:

$$\log(VPACB_t) = 51.347 - 0.589 \log(PMR_t) + 0.569 \log(PRS_t) - 3.989 \log(POB_t) + 0.646 \log(GDP_t)$$

Cuadro 14. Modelo de vector de corrección de errores normalizados de la demanda.

Ecuación de cointegración CointEq1	
LGPACB(-1)	1
LGPMR(-1)	-0.5891
	(0.0916)
	[-6.4300]
LGPRS(-1)	0.5691
	(0.1548)
	[3.6756]
LGPOB(-1)	-3.9892
	(1.3403)
	[-2.9764]
LGGDP(-1)	0.6467
	(0.1336)
	[4.8389]
C	51.3472

Fuente: Elaboración propia con resultados de *Eviews*.

En todos los casos, los coeficientes del término de corrección de errores fueron negativos y significativos, lo que indica que los sistemas ajustan los desequilibrios del periodo anterior y convergen hacia su equilibrio de largo plazo.

4.6 Discusión

Los resultados estadísticos obtenidos en esta investigación respaldan la existencia de relaciones de cointegración estructural en el sistema agrícola mexicano. Los modelos de oferta y de demanda revelaron la existencia de al menos un vector

cointegrante significativo, lo cual implica que las variables económicas, demográficas y climáticas interactúan de manera estable a lo largo del tiempo. Pese a las fluctuaciones de corto plazo, existe una trayectoria de equilibrio compartida: cuando la producción, los precios o el ingreso se alejan de ese equilibrio, existen fuerzas de ajuste que tienden a corregir el desequilibrio en periodos subsiguientes. La validación de relaciones de equilibrio de largo plazo y la presencia de mecanismos de corrección intertemporal en ambos modelos (oferta y demanda) constituyen evidencias robustas de que la producción agrícola responde a determinantes complejos y persistentes. Esto confirma la hipótesis planteada inicialmente y refuerza la importancia de analizar económicamente al sector agrícola con una perspectiva de largo plazo.

En el modelo de la oferta, los resultados son congruentes con estudios internacionales que han documentado el impacto negativo de las variaciones climáticas sobre la productividad agrícola. En nuestro caso, el coeficiente de la temperatura media resultó negativo y estadísticamente significativo en la relación de largo plazo (un aumento sostenido en la temperatura promedio conduce a una reducción en el valor de la producción agrícola de los cultivos básicos). Este resultado coincide con estudios como Le y Bentzen (2025), quienes encontraron relaciones de cointegración entre el aumento de temperaturas y caídas de rendimiento agrícola en Vietnam, o con Kyat *et al.* (2023), que demostraron que la variabilidad climática en Tailandia reduce los ingresos de los agricultores y afecta el rendimiento de los cultivos. En México, estos hallazgos refuerzan la necesidad de políticas de adaptación climática, ya que el aumento sostenido de la temperatura representa una amenaza estructural para la sostenibilidad del sector.

El efecto marginal del precio de los cultivos en el modelo de oferta sugiere que los mecanismos de mercado no operan con plena eficiencia en el ámbito agrícola. Esto puede deberse a distorsiones en: la formación de los precios, el otorgamiento de subsidios o rigideces institucionales, que limitan la respuesta de los productores a señales del mercado. En cambio, el precio de los cultivos sustitutos resultó más significativo, lo que indica que los agricultores tienden a realizar cambios en la

producción ante los precios, confirmando la racionalidad económica en contextos de elección múltiple.

Para el modelo de la demanda, los resultados revelan una elasticidad de ingreso positiva, lo cual es consistente con la teoría microeconómica: los cultivos básicos se comportan como bienes normales, cuyo consumo aumenta a medida que se incrementa el ingreso. Este hallazgo coincide con los resultados de García-Sánchez *et al.* (2024), quienes encontraron elasticidades positivas para el maíz en México durante el periodo de 1970-2020. Asimismo, el efecto positivo del precio sustituto en la demanda sugiere la existencia de relaciones de sustitución entre productos agrícolas, lo que confirma la sensibilidad del consumidor a precios relativos en un contexto de apertura comercial.

El resultado inesperado de un coeficiente negativo para la población en el modelo de demanda podría explicarse por efectos de colinealidad con otras variables demográficas o por cambios estructurales en los patrones alimentarios, como aumento del consumo de productos procesados o la diversificación de la dieta en zonas urbanas. Este aspecto requiere de mayor exploración en investigaciones futuras.

Este estudio permite afirmar que el sistema agrícola mexicano está sujeto a una dinámica de largo plazo que incorpora factores económicos, climáticos y sociales. La aplicación de modelos de cointegración VECM resulta apropiada para captar esas interacciones; su uso debe fomentarse en futuros estudios que busquen fundamentar las decisiones de política agrícola en evidencias empíricas y con un enfoque integral o sistémico.

4.7 Conclusiones

Esta investigación hizo posible identificar relaciones estables de largo plazo entre la producción de los cultivos básicos de México (maíz, frijol, trigo y arroz) y sus principales determinantes económicos y estructurales durante el periodo 1993-2022. La aplicación de la metodología de Johansen, junto con la estimación de modelos de corrección de errores (VECM), demostró la existencia de una dinámica

de ajuste hacia el equilibrio, tanto en los modelos de oferta como de demanda, lo cual es una evidencia de eficiencia económica y social en el sentido de Pareto.

En el modelo de la oferta, los resultados revelaron que la temperatura y el precio de los cultivos sustitutos ejercen efectos negativos y estadísticamente significativos sobre el valor de producción agrícola, lo que confirma la sensibilidad de la actividad agrícola frente a factores climáticos y competitivos.

En cuanto a la demanda, se observó un comportamiento acorde con la teoría microeconómica: el precio de los cultivos mostró una relación negativa sobre la producción, mientras que el ingreso *per cápita* presentó un efecto positivo y elástico, evidencia de que los cultivos básicos son bienes normales. El precio del bien sustituto tuvo un efecto positivo, mientras que la población mostró un efecto negativo, posiblemente asociado a cambios estructurales en los patrones alimentarios.

En conjunto, los resultados de ambos modelos confirman que la producción de los cultivos básicos en México mantiene relaciones eficientes de largo plazo con sus principales determinantes económicos, estructurales y climáticos.

Las conclusiones anteriores respaldan la necesidad de políticas agrícolas orientadas al manejo eficiente de los riesgos climáticos, a la estabilización de precios relativos a través de coberturas y al fortalecimiento de las actividades científicas y tecnológicas, con el fin de garantizar el desarrollo y la sostenibilidad del sistema agroalimentario nacional.

4.8 Literatura citada

Banco Mundial. (2022). Base de datos de indicadores de desarrollo mundial (World Development Indicators).

Barrett CB. 2021. Overcoming global food security challenges through science and solidarity. *American Journal of Agricultural Economics*. 103(2): 422–447.

<https://doi.org/10.1111/ajae.12160>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. Servicio Meteorológico Nacional. Ciudad de México.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). Estudio diagnóstico del derecho a la alimentación nutritiva y de calidad 2020. Ciudad de México.

<https://www.coneval.org.mx/>

Dickey, D.A., and W.A. Fuller, (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366): 427–431.

<https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>

Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series*. Fourth edition. Hoboken, NJ: Wiley.

Engle, R.F., and C.W.J. Granger. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica* 55: 251-276.

<https://doi.org/10.2307/1913236>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Roma, Italia.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *FAOSTAT: Cultivos y productos agrícolas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.

García-Sánchez, R.C., García-Matamoros, M., García-Mata, R., y D.M. Sangerman-Jarquín. (2024). Determinantes de la demanda de maíz en México, 1970–2020. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7).

<https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3325>

Gujarati, D.N. (2010). *Essentials of Econometrics*. SAGE Publications. Thousand Oaks, CA: 412-466 p.

IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Johansen, S. (1995). *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford University Press. Reino Unido.

<https://doi.org/10.1093/0198774508.001.0001>

Johansen, S., and K. Juselius. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2): 169–210. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>

Kyaw, Y., T.P.L. Nguyen, E. Winijkul, W. Xue, and S.G.P. Virdis. (2023). The effect of climate variability on cultivated crops' yield and farm income in Chiang Mai province, Thailand. *Climate*, 11(10), 204 p. <https://doi.org/10.3390/cli11100204>

Le, T.T., and J. Bentzen. (2025). Impact of climate change on agricultural yield: Evidence from Vietnam. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E Journal*, 11(1), 102–119 p. <https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.04>

Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin, Alemania: Springer.

Mata, H.L. (2004). *Nociones Elementales de Cointegración Enfoque de Soren Johansen*. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad de Los Andes, Venezuela.

Nicholson, W., and Ch. Snyder. (2015). *Teoría Microeconómica*. 11a edición. Cengage Learning. México, D.F.

- Phillips, P.C.B., and P. Perron. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2): 335–346.
- Sims, C.A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, 48(1), 1–48 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México.
- Timmer C.P. 2009. A world without agriculture: The structural transformation in historical perspective. AEI Press: Washington, D.C., EUA; pp. 120.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2024). Mexico Corn Production Forecast 2024–2025. Washington, D.C.

5 CONCLUSIONES GENERALES

Esta investigación integró dos enfoques complementarios para analizar el comportamiento de los cultivos básicos de México; por un lado, el análisis de las fluctuaciones y riesgos asociados a la producción, y por otro, la estimación de relaciones estructurales de largo plazo mediante modelos de cointegración. La combinación de ambos temas permitió una visión integral de la dinámica agrícola nacional entre los años de 1993 y 2022.

En el análisis de fluctuaciones, se identificaron ciclos de crecimiento y contracción en la producción de maíz, frijol, trigo y arroz, determinados por factores económicos y de política pública. Estos ciclos revelaron patrones de inestabilidad productiva que afectan la seguridad alimentaria y evidencia la vulnerabilidad del sector ante eventos externos.

Por su parte los modelos de cointegración aplicados a la oferta y demanda de la cantidad producida permitieron establecer relaciones estables de largo plazo entre las variables económicas, demográficas y climáticas como son: el precio, ingreso, sustitutos, población y temperatura. El hallazgo de vectores cointegrados confirmó que estas variables interactúan de manera persistente en la determinación de la producción, y que los equilibrios de corto plazo tienden a ajustarse con el tiempo mediante mecanismos estructurales.

Con esto se demuestra que los cultivos básicos de México no solo responden a *shocks* transitorios, sino que operan dentro de un sistema con equilibrios dinámicos. Esta comprensión permite avanzar en el diseño de políticas públicas diferenciadas, con un enfoque más orientado a mitigar los efectos de la volatilidad y otras dirigidas a fortalecer la sostenibilidad estructural del sistema agrícola.

Al relacionar los enfoques de las fluctuaciones y de cointegración, se ofrece un marco analítico útil para la planificación agrícola, la gestión de riesgos y la formulación de políticas orientadas a la resiliencia del sector rural. Con base a evidencia empírica sobre la naturaleza cíclica y estructural de la producción de los cultivos básicos de México.

5.1 Referencias bibliográficas

- Agénor, P.R., C.J. McDermott, and E.S. Prasad. (2000). Macroeconomic fluctuations in developing countries: Some stylized facts. *The World Bank Economic Review*, 14(2): 251–285. <https://doi.org/10.1093/wber/14.2.251>
- Almendra Arao, G. (2007). *Las Fluctuaciones Cíclicas de la Economía Mexicana*. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos, Estado de México: 147p.
- Almendra-Arao, G., Adrián González-Estrada y J.S. Mora-Flores. (2008). Los ciclos económicos de México y sus regularidades empíricas. *Agrociencia*, 42(3): 299-3.
- Almendra-Arao, G., y Adrián González-Estrada. (2008). Soluciones explícitas para el filtro estadístico Hodrick-Prescott. *Rev. Mex. Econ. Agríc. Rec. Nat*, 1(1): 105–115.
- Ayala, E., and Chapa, J. (2013). Impacto económico de las heladas y del financiamiento de la resiembra en Sinaloa. *Revista de Economía*, 30(81), 11–55.
<https://doi.org/10.33937/reveco.2013.40>
- Banco Mundial. (2011). *Administración del Riesgo Agrícola en el Siglo XXI*. Washington, DC: Banco Mundial/FAO.
- Banco Mundial. (2022). *Base de datos de indicadores de desarrollo mundial (World Development Indicators)*.
- Breusch, T.S. (1978). Testing for autocorrelation in dynamic linear models. *Australian Economic Papers*, 17(31), 334–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>
- Cabezas Bolaños, E., & Espinoza Esquivel, A. M. (2000). El arroz en América: su introducción y primeras siembras. *Revista de Historia de América*, 126, 7–31.
- Cashin, P., McDermott, C.J., and A. Scott. (2002). Booms and slumps in world commodity prices. *Journal of Development Economics* 69(1), 277–296. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00062-7)

- CECCAM. (2023). El mercado de granos y la seguridad alimentaria en México. Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano. <https://ceccam.org>
- CEPAL. (2011). Volatilidad de los precios de productos básicos: Impactos y respuestas de política en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPAL. (2022). Políticas públicas para la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org>
- CIMMYT. (2020). Historia del trigo en México. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. Servicio Meteorológico Nacional.
- CONEVAL. (2020). Estudio diagnóstico del derecho a la alimentación nutritiva y de calidad 2020. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Coordination Sud. (2010). Crise alimentaire mondiale: causes et conséquences.
- Cruz-González, C., Hernández, J. J., & Gómez, L. (2023). Sensibilidad climática de la producción de maíz en México. *Revista de Ciencias Agropecuarias* 12(1), 45–56. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327>
- De Ita, A. (2024). Impacto del TLCAN en la agricultura mexicana. Informe CECCAM. <https://ceccam.org>
- Deaton, A. (1999). Commodity prices and growth in Africa. *Journal of Economic Perspectives*, 13(3), 23–40. <https://doi.org/10.1257/jep.13.3.23>
- Dickey, D.A., y Fuller, W.A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Díaz-Carreño, M.Á., Juárez-Toledo, R., and M.C. Gómez-Chagoya. (2007). Conformación de una cartera de inversión óptima de cultivos agrícolas para México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 7(25), 49–63.

- Elliott, G., Rothenberg, T.J., & Stock, J.H. (1996). Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica* 64 (4): 813–836. <https://doi.org/10.2307/2171846>
- Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series*. Fourth edition. Wiley. New York.
- Engle, R.F., and C.W.J. Granger. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica* 55: 251-276.
- FAO. (1996). *Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2011). *La volatilidad de precios en los mercados agrícolas: Evidencia, efectos en la seguridad alimentaria y respuestas normativas*. Roma: FAO (Informe de políticas).
- FAO. (2013a). *Gestión del riesgo en la agricultura: Un enfoque sistémico*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2013b). *Marco para la gestión del riesgo en la agricultura*. Roma: FAO.
- FAO. (2020). *La volatilidad de los precios de los alimentos y su impacto en la seguridad alimentaria*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- FAO. (2021). *El impacto del cambio climático en la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma: FAO.
- FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*.
- FAO. (2022). *FAOSTAT: Cultivos y productos agrícolas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Frieler, K., Lange, S., and Piontek, F. (2017). Assessing the impacts of 1.5°C global warming. *Nature Climate Change* 7(6), 449–453. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4321-2017>
- García-Sánchez, R. C., García-Matamoros, M., García-Mata, R., & Sangerman-Jarquín, D. M. (2024). Determinantes de la demanda de maíz en México, 1970–2020. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15(7), e3325.

- Godfrey, L. G. (1978). Testing for higher order serial correlation in regression equations when the regressors include lagged dependent variables. *Econometrica*, 46(6), 1303–1310. <https://doi.org/10.2307/1913836>
- González-Celada, E., Ramírez, M., and Vargas, A. (2021). Riesgos climáticos en la agricultura mexicana. *Estudios Sociales Rurales*, 23(2), 77–95.
- González-Estrada, Adrián. (2018). *Teorías Macroeconómicas Actuales*. Ediciones Mix Ba'al. Chapingo, México. 192p.
- González-Estrada, Adrián. (2025). *Programación Dinámica con Aplicaciones a la Economía*. Ediciones Mix Ba'al. Chapingo, México. 612 p.
- González-Estrada, Adrián. y G. Almendra-Arao. (2007). Nuevo método para la identificación de los ciclos económicos. *Investigación Económica*. Vol. LXVI. Número 261:13-33.
- González-Estrada, Adrián y A.L. Hernández-Espinosa. (2013). Regularidades de las fluctuaciones cíclicas de la producción agropecuaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 367–380. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1199>
- Granados Sánchez, M. R., Galán Figueroa, J., y Leos Rodríguez, J. A. (2020). Volatilidad en los precios de los cereales básicos y su impacto en la seguridad alimentaria: México, 1995–2018. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 29(58), 79–105. <https://doi.org/10.20983/noesis.2020.2.4>
- Granger, C. W. J. (1986). Developments in the study of cointegrated economic variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48(3), 213–228. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>
- Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA). (2025). *Compras de granos y oleaginosas*. Entrevista concedida a Juan Carbajal y publicada en la Jornada el 16 de enero. Ciudad de México.
- Gujarati, D.N., y Porter, D.C. (2010). *Econometría* (5ª ed.). México: McGraw Hill.
- Gujarati, D.N. (2010). *Essentials of Econometrics*. SAGE Publications. Thousand Oaks, CA: 412-466 p.
- Hamilton, J.D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica* 57(2): 357-384.

- Hamilton, J.D. (2020). *Time Series Analysis*. Princeton University Press. New Jersey: 475-543p.
- Hardaker, J.B., Huirne, R.B.M., Anderson, J.R., y Lien. (2004). *Coping with risk in agriculture* (2nd ed.). CABI Publishing. New York.
- Harding, D., and A. Pagan, A. (2002). Dissecting the cycle: A methodological investigation. *Journal of Monetary Economics*, 49(2), 365–381. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(01\)00108-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(01)00108-8)
- Harding, D., and A. Pagan. (2002). Dissecting the cycle: A methodological investigation. *Journal of Monetary Economics*, 49(2): 365–381.
- Hodrick, R.J., & Prescott, E.C. (1997). Postwar U.S. business cycles: An empirical investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29(1), 1–16.
- Hodrick, R.J., and E.C. Prescott. (1997). Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, 29(1): 1–16. <https://doi.org/10.2307/2953682>
- Ibarra, A.A. (2016). Crisis del arroz en México: causas estructurales. *Revista Mexicana de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales*, 9(1), 31–47.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). (2022). *Economía y Sectores Productivos*. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/#tabulados>
- Ireta, A., Gómez, C., y Hernández. (2016). Dinámica de la producción arroceras en México. *Revista Agricultura y Desarrollo*, 13(2), 23–36.
- Johansen, S. (1995). *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford University Press.
- Johansen, S., and K. Juselius. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169–210.
- Kaldor, N. (1934). A classificatory note on the determinateness of equilibrium. *Review of Economic Studies*, 1(2), 122–136. <https://doi.org/10.2307/2967618>
- Komarek, A.M., De Pinto, A., y Smith, V.H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178 (102738). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>

- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics* 54 (1–3): 159–178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- Kyaw, Y., Nguyen, T. P. L., Winijkul, E., Xue, W., & Viridis, S. G. P. (2023). The effect of climate variability on cultivated crops' yield and farm income in Chiang Mai province, Thailand. *Climate*, 11(10), 204.
- Kydland, F.E., and E.C. Prescott. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica* 50(6): 1345-1370.
- Kydland, F.E., and E.C. Prescott. (1990). Business cycles: Real facts and a monetary myth. *Quarterly Review*, Federal Reserve Bank of Minneapolis 14(2): 3-18.
- Le, T.T., and J. Bentzen. (2025). Impact of climate change on agricultural yield: Evidence from Vietnam. *Agricultural and Resource Economics*, 11(1).
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer.
- Mata, H.L. (2004). *Nociones Elementales de Cointegración Enfoque de Soren Johansen*.
- Montenegro, G.A. (1989). La función de autocorrelación y su empleo en el análisis de series de tiempo. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 23, 117-132.
- Ng, S., and P. Perron, P. (2001). Lag length selection and the construction of unit root tests with good size and power. *Econometrica*, 69(6), 1519–1554. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00256>
- Phillips, P.C.B., and P. Perron. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335–346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- Prescott, Edward C. (1998). *Business cycle research: methods and problems*. Working paper 590. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Minneapolis, MN.
- Pureco, R., and H. García. (2017). Política agroalimentaria y dependencia del arroz. *Estudios de Economía Rural*, 7(3), 59–72.

- Romero-Félix, N., M. López y J. Chávez. (2019). Efectos de la sequía en el rendimiento del frijol común. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 351–364.
- Rosen, S. (1987). Dynamic adjustments and cobweb phenomena. In: Eatwell, J., Milgate, M., & Newman, P. (Eds.), *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*. Macmillan.
- SADER – Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Gobierno de México). (2015, 29 sep.). El maíz, fuente de inspiración y #OrgulloDeMéxico.
- SADER. (2020, agosto 20). Productores de pequeña escala son los que nos dan de comer. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- SADER. (2022, julio 28). Maíz, frijol, arroz y trigo: los granos básicos de México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sandmo, A. (1971). On the theory of the competitive firm under price uncertainty. *American Economic Review*, 61(1), 65–73.
- Schumpeter, J.A. (1939). *Business cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. McGraw-Hill.
- Schumpeter, J.A. (2002). Ciclos económicos: análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista. *Prensas Universitarias. Zaragoza, España: vol. 5: 459-477.*
- Schumpeter, J.A. (2002). Ciclos económicos: análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista. *Prensas Universitarias. Zaragoza, España, vol. 5: 459-477.*
- Sims, C.A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1-48.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México.
- SIAP. (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- SNICS. (2017). Frijol (*Phaseolus spp.*): Generalidades. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. <https://www.gob.mx/siap>

- Steffen, R. (2017). El neoliberalismo en el campo: consecuencias del TLCAN. *Revista de Estudios Sociales Latinoamericanos*, 8(1), 101–122.
- Sánchez, I. (2019). Ciclos económicos en México: Identificación, profundidad y duración. *Revista de Economía UNAM*, 16(47): 93-108.
- Therrell, M.D., Stahle, D.W., and M.E. Ortiz. (2012). Tree-ring reconstructions of maize yield variability in central Mexico. *Climate Change*, 112(3-4), 705–717.112(3-4), 705–717. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0265-3>
- USDA. (2024). Mexico Corn Production Forecast 2024–2025. United States Department of Agriculture. Washington, D.C.