



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE
LOS RECURSOS NATURALES

DIMENSIONAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DEL PIB
AGRÍCOLA EN MÉXICO DE 1993 A 2023

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

Presenta

ROMANO FLORES ALEJANDRO

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

Chapingo, Estado de México, noviembre de 2025



APROBADA



**DIMENSIONAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DEL PIB AGRÍCOLA EN MÉXICO
DE 1993 A 2023**

Tesis realiza por **ALEJANDRO ROMANO FLORES** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado y aprobada por el mismo, aceptada como requisito para parcial para obtener el grado de:

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

DIRECTOR:



DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR:



DR. JUAN HERNÁNDEZ ORTIZ

ASESOR:



DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS	v
AGRADECIMIENTOS	xi
DATOS BIOGRÁFICOS	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5 Hipótesis	4
1.6 Estructura del documento	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 México como economía	6
2.1.1. Introducción al sector agrícola en México	2
2.1.2. Contribución del PIB agrícola al PIB nacional	2
2.2 Contexto teórico	2
2.3 Variabilidad económica y PIB agrícola	8
2.3.1. Definición del PIB	8
2.3.2. Variabilidad económica	9
2.3.3. Riesgo agrícola	9
2.3.4. Factores que influyen en la variabilidad del PIB agrícola	9

2.4.	Método y herramientas para cuantificar la variabilidad.....	16
2.4.1.	Análisis estadístico de series de tiempo.....	22
2.4.2.	Índices de variabilidad y volatilidad	23
2.4.3.	Modelos econométricos.....	25
2.5.	Estudios previos sobre la variabilidad del PIB agrícola en México	26
2.6.	Impacto de la variabilidad del PIB agrícola en la economía mexicana	36
2.6.1.	Efectos en el empleo rural y la seguridad alimentaria	41
2.6.3.	Consecuencias macroeconómicas	43
2.7.	Políticas y estrategias para mitigar la variabilidad del PIB agrícola	44
2.7.1.	Programas gubernamentales de apoyo al sector agrícola	51
2.7.2.	Estrategias de adaptación al cambio climático	52
2.7.3.	Innovación tecnológica y financiera.....	53
2.8.	Literatura citada.....	55
3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DEL PIB AGRÍCOLA EN MÉXICO DE 1993 A 2023.....	63
3.1.	ABSTRACT	64
3.2.	INTRODUCCIÓN.....	65
3.3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	66
3.4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
3.5.	CONCLUSIONES.....	73
3.6.	REFERENCIAS	74
4.	CONCLUSIONES GENERALES	76
5.	LITERATURA GENERAL.....	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. PIB real por países seleccionados 2023	7
Cuadro 2. Contribución de cada sector al PIB	2
Cuadro 3. Participación de cada subsector que integran al sector primario	3
Cuadro 4. Comparación del aporte de la actividad agrícola al PIB nacional.....	3
Cuadro 5. Principales cultivos anuales por superficie sembrada a cielo abierto.	4
Cuadro 6. Principales cultivos perennes por superficie sembrada a cielo abierto	2
Cuadro 7. Resultados estadísticos de la comparación de los coeficientes de variación entre ambos grupos.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variabilidad del PIB total nacional en México de 1993 a 2023.....	70
Figura 2 Variabilidad del PIB agrícola en México de 1993 a 2023	71

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Palabra	Significado
AGROASEMEX	Aseguradora Agropecuaria y de Bienes Patrimoniales del Gobierno Federal	Institución de seguros del gobierno mexicano especializada en administrar riesgos en el sector rural para proteger el patrimonio y la capacidad productiva de los agricultores y ganaderos
ANN	Red Neuronal Artificial	Modelo computacional inspirado en la estructura y funcionamiento del cerebro humano
BIE-INEGI	Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía	Fuente de información sociodemográfica y económica presentada en forma de series de tiempo
CONAHCYT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías	Institución del gobierno de México encargada de formular y conducir las políticas públicas en materia de

Abreviatura	Palabra	Significado
		humanidades, ciencias, tecnologías e innovación.
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal	Órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua	Órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social	Organismo del gobierno federal mexicano encargado de medir la pobreza y evaluar las políticas y programas de desarrollo social
CSA	Agricultura Climática Inteligente	Constituye un enfoque que ayuda a las personas que manejan los sistemas agrícolas a responder de forma eficaz al cambio climático
CV	Coeficiente de variación	Medida estadística que describe la dispersión de un conjunto de datos en relación con su media
DCC	Correlación Condicional Dinámica	Modelo estadístico que mide la relación cambiante entre múltiples variables a lo largo del tiempo
DICEA	División de Ciencias Económico-Administrativas	División académica de la Universidad Autónoma Chapingo
EGARCH	Exponencial General Autorregresivo Condicional Heterocedástico	Modelo estadístico que se utiliza para modelar la volatilidad en series de temporales financieras

Abreviatura	Palabra	Significado
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares	Instrumento estadístico del INEGI que busca proporcionar información sobre la composición, distribución y comportamiento de los ingresos y gastos de las familias en México.
FAO	Food and Agriculture Organization	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura	Institución del Banco de México que apoya el desarrollo de los sectores agropecuario, rural, forestal y pesquero del país
GARCH	Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva Generalizada	Modelo estadístico que se utiliza principalmente para predecir la volatilidad en series de tiempo
INEGI	Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e informática	Organismo público autónomo en México encargado de recopilar, analizar y difundir información estadística y geográfica del país para apoyar la toma de decisiones.
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	Institución pública mexicana dedicada a la investigación científica y tecnológica para el desarrollo del sector agroalimentario, forestal y ganadero de México.
INPC	Índice de Precios al Consumidor	Indicador económico que mide la variación de los precios de una canasta de bienes y servicios que los hogares consumen en México
MEGC	Modelos de Equilibrio General Computable	Herramientas econométricas que usan datos reales para simular cómo una economía reacciona a cambios en

Abreviatura	Palabra	Significado
		políticas, tecnología u otros factores externos
MEXDER	Mercado Mexicano de Derivados	Sociedad anónima que funciona como la bolsa de derivados de México, autorizada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público
M-SLRT	Prueba de la Razón de Verosimilitud Modificada con Signo	Prueba estadística utilizada para comparar dos hipótesis y determinar qué tan bien los datos apoyan a una hipótesis sobre la otra
MGARCH	Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva Generalizada Multivariado	Modelo econométrico que se utiliza para analizar y predecir la volatilidad de varias series temporales simultáneamente, teniendo en cuenta sus interrelaciones
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	Métrica utilizada para evaluar la salud y el crecimiento de la vegetación a partir de imágenes satelitales
PIBA	Producto Interno Bruto Agrícola	Valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de las fronteras de un país en un período de tiempo determinado, como un año de la actividad agrícola
PIB	Producto Interno Bruto	Valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de las fronteras de un país en un período de tiempo determinado, como un año
PROCAMPO	Programa de Apoyos Directo al Campo	Programa de subsidios agrícolas
PSA	Pago de Servicios Ambientales	Incentivo económico para propietarios de tierras que

Abreviatura	Palabra	Significado
		conservan ecosistemas productivos.
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural	Secretaría federal de México encargada de promover el desarrollo integral del campo y los mares del país
SIAP	Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera	Plataforma que permite explorar una base de datos con información agrícola, pecuaria y pesquera del país
SIG	Sistemas de Información Geográfica	Sistema informático para almacenar, analizar y visualizar datos geográficos
SMN	Sistema Meteorológico Nacional	Organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. Depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual forma parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
SVAR	Vectores Autorregresivos Estructurales	Modelo estadístico que imponen restricciones basadas en la teoría económica para identificar y analizar los choques (shocks) económicos
TCI	Índice de Condición de Temperatura	Índice que se emplea para medir el estrés en la vegetación, analizando si las temperaturas máximas y mínimas están causando estrés o exceso de humedad en las plantas
T-MEC	Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá	Acuerdo comercial trilateral que sustituyó al TLCAN

Abreviatura	Palabra	Significado
		(Tratado de Libre Comercio de América del Norte) y tiene como objetivo modernizar y fortalecer los lazos comerciales entre los tres países, facilitando el intercambio de bienes y servicios.
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte	Acuerdo entre Canadá, México y Estados Unidos para crear una zona de libre comercio
UACH	Universidad Autónoma Chapingo	Institución de educación superior de México, centrada en la agronomía, con origen en la Escuela Nacional de Agricultura.
VAR	Modelos de Vectores Autorregresivos	Modelo econométrico que permite analizar las interdependencias dinámicas de múltiples variables
VARMA	Vectorial Autorregresivo de Media Móvil	Modelo estadístico multivariado que analiza la dinámica entre varias series de tiempo
VEC	Vectores de Corrección de Error	Modelo estadístico utilizado para analizar series de tiempo que no son estacionarias pero que están cointegradas.
VCI	Índice de Condición de Vegetación	Índice que relaciona el NDVI actual con su mínimo y máximo a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a los integrantes de mi comité asesor por sus valiosas observaciones, orientación y apoyo durante el desarrollo de esta tesis. De manera especial, deseo reconocer a mi director de tesis Dr. Miguel Ángel Martínez Damián, por su dedicación, paciencia y acompañamiento constante a lo largo de este proceso académico.

Agradezco igualmente a la vida por las oportunidades otorgadas y a mí mismo por la perseverancia, el compromiso y el afán de superación que me han permitido avanzar en este camino con el propósito de mejorar continuamente en el ámbito personal y profesional.

Asimismo, extiendo mi reconocimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y al posgrado de la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA) por su nobleza y generosidad al brindarme educación gratuita y servicios asistenciales de alta calidad.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Alejandro Romano Flores

Fecha de nacimiento: 21 de diciembre de 1996

Lugar de nacimiento: Chietla, Puebla.

No. De cartilla militar: D-4863156

Curp: ROFA961221HPLMLL03

Profesión: Ingeniero en Irrigación

No. De cedula: 13713174



Desarrollo académico

2015-2020

Ingeniería en Irrigación

Texcoco, Estado de México

Universidad Autónoma Chapingo

2012-2015

Técnico en Informática

Chietla, Puebla

CBTa No. 185

Formación adicional

Junio-octubre 2020

Diplomado de titulación:

CEC, UACH

Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión

RESUMEN GENERAL

DIMENSIONAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DEL PIB AGRÍCOLA EN MÉXICO DE 1993 A 2023

El sector agrícola en México se caracteriza por su elevada vulnerabilidad debido a su exposición constante a factores climáticos, económicos y de mercado que impactan directamente su estabilidad económica. En este contexto, la investigación tuvo como propósito cuantificar la variabilidad del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA) durante el periodo 1993-2023, utilizando el coeficiente de variación (CV) como medida estadística que permite comparar la dispersión relativa del PIBA respecto al PIB total nacional. La hipótesis nula planteó que ambos sectores presentan un mismo nivel de variabilidad, mientras que la hipótesis alternativa sostuvo que existen diferencias significativas entre ellos, reflejando una mayor exposición del sector agrícola a factores de riesgo externos. Para comprobarlo, se analizaron datos trimestrales del PIB total y del PIB agrícola, con base 2018, aplicando la metodología propuesta por Marwick y Krishnamoorthy (2019), que combina dos pruebas estadísticas robustas: la prueba asintótica de Feltz y Miller (1996) y la M-SLRT (Modified Signed-Likelihood Ratio Test). Este enfoque metodológico permitió evaluar con precisión la homogeneidad o heterogeneidad en la variabilidad relativa de ambos sectores. Los resultados mostraron que el PIB agrícola presenta una variabilidad significativamente mayor que el PIB total, con valores de prueba asintótica de 155.948 ($p = 8.68 \times 10^{-36}$) y M-SLRT de 161.511 ($p = 0$), lo que llevó a rechazar la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que el sector agrícola mexicano enfrenta un riesgo económico más elevado y una mayor volatilidad en su desempeño, evidenciando la necesidad de diseñar políticas públicas que fortalezcan la resiliencia productiva y mitiguen los efectos de la incertidumbre en el ámbito rural.

Palabras clave: Coeficiente de variación, riesgo agrícola, asintótica, M-SLRT.

Tesis de Maestría en Ciencias, Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Alejandro Romano Flores. Director de Tesis: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián.

GENERAL ABSTRACT

ASSESSING THE VARIABILITY OF MEXICO'S AGRICULTURAL GDP, 1993– 2023

The agricultural sector in Mexico is characterized by its high vulnerability due to constant exposure to climatic, economic, and market factors that directly affect its economic stability. In this context, the purpose of this research was to quantify the variability of the Agricultural Gross Domestic Product (AGDP) from 1993 to 2023, using the coefficient of variation (CV) as a statistical measure to compare the relative dispersion of the AGDP with that of the total national GDP. The null hypothesis stated that both sectors exhibit the same level of variability, whereas the alternative hypothesis posited significant differences between them, reflecting the agricultural sector's greater exposure to external risk factors. To test this hypothesis, quarterly data for total GDP and agricultural GDP (base year 2018) were analyzed, using the methodology proposed by Marwick and Krishnamoorthy (2019), which combines two robust statistical tests: the asymptotic test of Feltz and Miller (1996) and the Modified Signed-Likelihood Ratio Test (M-SLRT). This methodological approach enabled a precise assessment of the homogeneity or heterogeneity in the relative variability of both sectors. The results showed that agricultural GDP exhibits significantly greater variability than total GDP, with asymptotic test values of 155.948 ($p = 8.68 \times 10^{-36}$) and M-SLRT values of 161.511 ($p = 0$), leading to the rejection of the null hypothesis. Consequently, it is concluded that Mexico's agricultural sector faces higher economic risk and greater performance volatility, highlighting the need to design public policies that strengthen productive resilience and mitigate the effects of uncertainty in the rural economy.

Keywords: Coefficient of variation, Agricultural risk, Asymptotic test, Modified Signed-Likelihood Ratio Test (M-SLRT)

Master in Science Thesis, Agricultural and Natural Resources Economics, Chapingo Autonomous University. Author: Alejandro Romano Flores. Thesis advisor: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El interés por analizar la situación del sector agrícola mexicano surge de la necesidad de comprender los factores que condicionan su estabilidad y competitividad en un entorno económico cada vez más incierto. La agricultura, además de ser un pilar histórico de la economía nacional, enfrenta retos estructurales derivados de la variabilidad climática, la apertura comercial y la limitada modernización tecnológica.

En las últimas décadas, la producción agrícola ha mostrado una alta vulnerabilidad ante fluctuaciones económicas y ambientales, reflejadas en la inestabilidad del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA). Esta situación plantea el problema central de determinar si la volatilidad de dicho sector es significativamente mayor respecto al resto de la economía nacional. Analizar esta relación permite identificar el grado de riesgo que enfrenta la agricultura mexicana y aportar evidencia empírica útil para el diseño de políticas públicas que fortalezcan su resiliencia y sostenibilidad.

1.1 Antecedentes

La agricultura es una actividad que se caracteriza por su alta exposición a diversos riesgos. En relación con estos, se han desarrollado numerosas investigaciones que abordan, en particular, los riesgos de producción. Entre los estudios más relevantes se encuentran los de Ortiz-Paniagua et al. (2023), Espín Sánchez (2022), Quirós Badilla (2019), Ortiz Paniagua & Ortega Gómez (2018), y Guerrero-Baena et al. (2021), entre otros. Estos trabajos han tenido como objetivo principal cuantificar el riesgo mediante el uso de índices, evaluar la vulnerabilidad a través de variables climatológicas, matrices de calor y modelos de regresión logística.

Asimismo, existen investigaciones enfocadas en los riesgos financieros en el sector agrícola, particularmente en empresas dedicadas a esta actividad. Autores como Timbila et al. (2020), Ríos Urzúa (2019) y Parra Trávez et al. (2024) han

analizado este tipo de riesgos, evidenciándolos mediante indicadores como el coeficiente de liquidez.

1.2. Planteamiento del problema

La agricultura es una actividad que está estrechamente ligada al riesgo, a nivel mundial de acuerdo con la (Primera estimación mundial de las repercusiones de las catástrofes en la agricultura, s/f) en los últimos 30 años se estima que se ha perdido una producción agrícola y ganadera por valor de unos 3,8 billones de USD debido a catástrofes, lo que corresponde a una pérdida media de 123 000 millones de USD al año, o el 5 % del producto interno bruto agrícola mundial anual. Entre las fuentes de riesgo más frecuentes se encuentra el cambio climático, las enfermedades y diversas perturbaciones que van desde crisis financieras hasta desastre naturales. Además, existen riesgos asociados a la logística, la infraestructura, las políticas públicas y el contexto político. En los últimos años estos riesgos se han intensificado debido a la crisis climática y a la inestabilidad de los mercados (Plataforma para la Gestión de Riesgos Agrícolas, s/f)

En este contexto, dimensionar el riesgo agrícola adquiere una relevancia aun mayor en países como México, que destaca por su gran biodiversidad y su capacidad para producir una amplia variedad de cultivos gracias a sus condiciones climáticas favorables y su extenso territorio. El sector agrícola mexicano es uno de los líderes en América Latina, siendo el principal productor de hortalizas en la región y ocupando el segundo lugar en la producción de frutas, solo por detrás de Brasil. Además, la agricultura juega un papel crucial en la economía del país, contribuyendo con un 2.2% del producto interno bruto (PIB) y atrayendo una inversión extranjera directa (IED) constante, que en 2023 superó los 109 millones de USD, (El sector agrícola en México – Datos estadísticos | Statista, s/f). Dada la importancia económica y social de la agricultura en México, así como su vulnerabilidad ante los riesgos globales y locales, resulta

fundamental implementar estrategias que permitan dimensionar el riesgo en este sector. Esto no solo protegería la producción agrícola y la seguridad alimentaria, sino que también aseguraría la estabilidad económica y el flujo de inversiones en un sector clave para el desarrollo del país.

Esta investigación se enfoca justamente en atender este problema específicamente en dimensionar la variabilidad del PIB agrícola en México de 1993 a 2023 para evidenciar el riesgo económico de este sector.

1.3. Justificación

La agricultura es un sector fundamental para la economía de México, no solo por su contribución al Producto Interno Bruto (PIB), de acuerdo con el Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI, 2023) aporta 2.2% del PIB total, sino también por su papel en la seguridad alimentaria, el empleo rural y la reducción de la pobreza. A lo largo de las últimas décadas, este sector ha experimentado transformaciones significativas. Chamú y García (2023) destacan cambios significativos como: la ganaderización de la agricultura, la reconversión productiva, el modelo primario exportador, la agroindustria, la frontera agrícola, reformas al artículo 27 constitucional, la apertura comercial en 1982 y el ingreso al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, mismo que fue sustituido por el Tratado entre México, Estado Unidos y Canadá (TMEC) en 2020.

Sin embargo, el desempeño del sector agrícola se caracteriza por una variabilidad, influenciada por factores climáticos, políticos y de mercado. Basurto Hernández & Escalante Semerena (2012) señalan que el crecimiento de este sector presenta fluctuaciones anuales, lo que se traduce en una alta incertidumbre en los ingresos y un mayor riesgo para los actores involucrados. Además, Komarek et al. (2020) identifica cinco categorías principales que afectan a la agricultura: riesgos de producción, riesgos de mercado, riesgos institucionales, riesgos personales y riesgos financieros. A pesar de la importancia de este sector, en México existen pocos estudios que cuantifiquen o

dimensionen el riesgo económico asociado a la variabilidad del PIB agrícola. Métodos como el cálculo de la probabilidad, la variabilidad o la incertidumbre, son herramientas útiles para este fin, pero su aplicación en el contexto mexicano ha sido limitada. Por ello, esta investigación busca dimensionar la variabilidad del PIB agrícola a través del cálculo del coeficiente de variación, con el objetivo de evidenciar el nivel de riesgo económico que enfrenta el sector.

Los resultados de esta investigación pueden servir como evidencia para que los hacedores de política agrícola diseñen herramientas que permitan administrar y mitigar el riesgo en este sector, el cual es crucial no solo para la economía nacional, sino también para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades rurales. Así, este estudio ofrece insumos para la toma de decisiones informadas en el ámbito de política agrícola.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Dimensionar la variabilidad del PIB agrícola en México en el periodo de 1993-2023 a través del cálculo y la interpretación del coeficiente de variación

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar y analizar datos históricos del PIB agrícola en México para el periodo de 1993-2023, con el fin de establecer una base para el cálculo del coeficiente de variación.
- Calcular el coeficiente de variación del PIB agrícola a nivel nacional.
- Evidenciar el riesgo económico del sector agrícola en México a partir de la variabilidad del PIB agrícola

1.5. Hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): El coeficiente de variación del PIB agrícola es igual al coeficiente de variación del PIB total. Es decir, no hay diferencia significativa en la variabilidad relativa entre el PIB agrícola y el PIB total en el periodo 1993-2023.

Hipótesis Alternativa (HA): El coeficiente de variación del PIB agrícola es diferente al coeficiente de variación del PIB total. Esto implica que hay diferencias significativas en la variabilidad relativa entre ambos sectores durante el periodo de estudio 1993-2023.

1.6. Estructura del documento

Después de este apartado, el presente documento se organiza de la siguiente manera. El próximo apartado describe lo siguiente: a) México como economía, b) contexto teórico de la variabilidad del PIB agrícola en México, c) los métodos y herramientas para cuantificar la variabilidad del PIB agrícola en México, d) estudios previos sobre la variabilidad, e) impacto de la variabilidad del PIB agrícola en la economía mexicana, f) políticas y estrategia para mitigar la variabilidad del PIB agrícola. En el tercer capítulo se muestra el artículo científico derivado de este trabajo. Por último, en el capítulo 4 se comentan las conclusiones.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La comprensión de la variabilidad del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA) requiere un análisis integral que considere tanto los fundamentos teóricos del crecimiento económico como las particularidades estructurales del sector agrícola mexicano. Este capítulo tiene como propósito contextualizar la relevancia económica del sector primario, analizar su contribución al desarrollo nacional y examinar los principales enfoques teóricos y metodológicos que explican su comportamiento a lo largo del tiempo.

En primer lugar, se presenta una panorámica general de la economía mexicana y del papel que desempeña la agricultura dentro de ella, destacando su aporte al empleo, la seguridad alimentaria y la estabilidad macroeconómica. Posteriormente, se revisan las principales teorías que sustentan el estudio del crecimiento y la variabilidad económica, entre ellas los modelos clásicos y endógenos de crecimiento, la teoría del ciclo económico real, la nueva economía

institucional y los enfoques contemporáneos sobre resiliencia y sistemas complejos aplicados al sector agrícola.

Asimismo, se analizan los factores que inciden en la variabilidad del PIB agrícola climáticos, económicos, políticos y tecnológicos, enfatizando cómo estos determinan la vulnerabilidad estructural del campo mexicano. Finalmente, se abordan los métodos y herramientas estadísticas y econométricas empleados en la literatura para medir dicha variabilidad, como los modelos GARCH, VAR, ARIMA y el coeficiente de variación, con el fin de sentar las bases metodológicas que guían el presente estudio.

En conjunto, este capítulo proporciona el sustento teórico y empírico necesario para comprender las causas y manifestaciones de la inestabilidad del sector agrícola, permitiendo posteriormente contrastar los resultados obtenidos con los antecedentes y evidencias existentes.

2.1. México como economía

Con una población de casi 130 millones de personas, una rica historia cultural, gran diversidad y una geografía favorable con abundantes recursos naturales, México se posiciona entre las quince economías más grandes del mundo y es la segunda en América Latina. (*México: panorama general*, s/f) El país cuenta con instituciones macroeconómicas sólidas, apertura comercial y una base manufacturera diversificada que se integra a cadenas de valor globales. (*México: panorama general*, s/f)

Es el décimo cuarto país más extenso del mundo, con una superficie cercana a los 2 millones de kilómetros cuadrados. (*Información general sobre México*, s/f)

Cuadro 1. PIB real por países seleccionados 2023

País	PIB real	%	Población en millones	%	PIB per cápita
Estados Unidos	21,776.28	23.46	339.67	4.15	64,110.12
China	17,173.99	18.50	1413.14	17.26	12,153.07
Japón	4,616.97	4.97	124.352	1.52	37,128.20
Alemania	3,622.50	3.90	83.4	1.02	43,435.24
Reino Unido	3,212.80	3.46	68.992	0.84	46,567.72
India	3,199.06	3.45	1399.18	17.09	2,286.38
Francia	2,656.97	2.86	68.4	0.84	38,844.65
Italia	1,984.60	2.14	58.8	0.72	33,751.70
Brasil	1,954.75	2.11	218.69	2.67	8,938.46
Canadá	1,779.88	1.92	40.097	0.49	44,389.25
Corea, República de	1,764.49	1.90	51.69	0.63	34,135.95
Australia	1,634.03	1.76	26.6	0.32	61,429.59
Federación de Rusia	1,524.52	1.64	144.444	1.76	10,554.40
España	1,356.72	1.46	48.6	0.59	27,916.14
México	1,326.55	1.43	129.88	1.59	10,213.70
Turquía	1,248.35	1.34	85.59	1.05	14,585.25
Indonesia	1,178.92	1.27	279.48	3.41	4,218.28
Países Bajos	895.77	0.96	17.9	0.22	50,042.78
otros	19,919.90	21.46	3590.539	43.84	5,547.89
total	92,827.06	100.00	8189.444	100.00	11,334.96

Fuente: Banco mundial, 2024.

PIB real en miles de millos (US) año base 2015, PIB per cápita en US

2.1.1. Introducción al sector agrícola en México

La agricultura en México es una de las actividades económicas más relevantes por su capacidad para generar empleos en el país. Es considerada un sector productivo clave desde los ámbitos económico, social y ambiental, ya que asegura la alimentación básica de millones de personas (Hidroponía, 2015). Además, la agricultura en México va más allá de ser un sector importante en términos de su contribución al PIB nacional. Sus múltiples funciones en el desarrollo económico, social y ambiental reflejan que su relevancia en el progreso del país es aún mayor de lo que podría suponerse. De acuerdo con el SIAP, de los casi 197 millones de hectáreas que conforman la superficie continental de México, 24.6 millones de hectáreas se dedican a actividades agrícolas, donde se cultivan alrededor de 200 productos diferentes en diversas estaciones y temporadas del año. Asimismo, este sector emplea al 13% de la población, lo que equivale a aproximadamente 3.3 millones de agricultores y 4.6 millones de trabajadores asalariados y familiares no remunerados (ILCE, 2023).

2.1.2. Contribución del PIB agrícola al PIB nacional

Cuadro 2. Contribución de cada sector al PIB

Actividades	PIB	%
Primarias	827,754	3.50
Secundarias	7,999,175	33.81
Terciarias	14,830,567	62.69
TOTAL	23,657,496	100.00

Fuente: elaboración propia con datos del Banco de información económica, INEGI, 2024

Año 2023, PIB (producto interno bruto) en millones de pesos a precios de 2018

Cuadro 3. Participación de cada subsector que integran al sector primario

CONCEPTO	PIB	%
ACTIVIDADES PRIMARIAS	827,754	100.00
Agricultura	519,153	62.72
Cría y explotación de animales	270,332	32.66
Aprovechamiento forestal	24,607	2.97
Pesca, caza y captura	7,767	0.94
Servicios relacionados	5,893	0.71
con las actividades agropecuarias y forestales		

Fuente: elaboración propia con datos de Banco de información económica, INEGI 2024

Año 2023, PIB (Producto interno Bruto) en Millones de pesos a precios de 2018

Cuadro 4. Comparación del aporte de la actividad agrícola al PIB nacional

PIB	Total	%
Nacional	23,657,496	100
Agricultura	519,153	2.2

Elaboración propia con datos de BIE-INEGI 2024

Año 2023, PIB en Millones de pesos a precios de 2018

Cuadro 5. Principales cultivos anuales por superficie sembrada a cielo abierto

Cultivo	Hectáreas	Cultivo	Hectáreas
Maíz grano blanco	6,077,028	Soya	100,461
Frijol	1,909,373	Papa	56,089
Sorgo grano	1,472,605	Cebolla	46,900
Maíz forrajero	805,500	Brócoli	46,068
Maíz grano amarillo	710,273	Sandía	38,223
Trigo grano	556,233	Jitomate (Tomate rojo)	37,056
Avena forrajera	529,660	Tomate de cáscara (Tomatillo)	32,576
Sorgo forrajero	367,885	Arroz	31,854
Calabaza/calabacita	250,570	Melón	16,896
Cebada grano	241,210	Amaranto	4,933
Algodón	169,271	Total	13,629,998
Chile	129,325		

Fuente: censo agropecuario 2022, INEGI 2025

Cuadro 6. Principales cultivos perennes por superficie sembrada a cielo abierto

Cultivo	Hectáreas	Cultivo	Hectáreas
Pasto cultivado	2,337,837	Coco	104,141
Caña de azúcar	1,007,713	Cacao	91,855
Café	564,651	Piña	48,872
Naranja	467,798	Manzana	42,512
Alfalfa	425,357	Uva	38,519
Limón	367,931	Espárrago	38,053
Agave	361,475	Guayaba	34,964
Aguacate	290,820	Papaya	23,981
Mango	277,296	Nopal verdura (Nopalitos)	20,423
Nuez	183,332	Fresa	13,723
Plátano	164,057	Total	6,905,319

Fuente: censo agropecuario 2022, INEGI 2025

2.2. Contexto teórico

La relación entre el sector agrícola y el desarrollo económico ha sido uno de los aspectos más debatidos por la teoría económica, en discusiones que socavaron desde economistas clásicos a teorías modernas de crecimiento. La agricultura, como sector primario de economía, ha sido históricamente la base sobre la cual se construyeron las economías industriales ahí no solo proveía alimentos para una población en crecimiento, sino, además; permitía liberar mano de obra para los otros sectores y generaba suficiente excedente de capital para poder invertir (Johnston y Mellor, 1961).

En el contexto de México con una historia que esencialmente tiene que ver con la agricultura y siendo un país que entra en transición económica el análisis de la variabilidad del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola cobra especial interés, pues sus beneficios en términos de ingresos tienen como consecuencia directa en la estabilidad de la macroeconomía, en la seguridad alimentaria y la subsistencia de un porcentaje importante de la población (Moctezuma-López, 2023).

Las teorías de crecimiento económico, desde el modelo de Solow (1956) hasta las teorías de crecimiento endógeno de Romer (1990) y Lucas (1988), han insistido en el progreso tecnológico y la acumulación de capital (físico y humano) como factores determinantes del desarrollo. Si bien estos modelos se centran en el sector industrial o en la economía en su conjunto, su aplicación en el sector agrícola es de gran importancia.

La tecnificación del campo, la adopción de prácticas agrícolas innovadoras y la inversión en infraestructura rural son factores que no solo aumentan la productividad, sino que pueden disminuir la heterogeneidad de la misma (Gollin, 2010). En el caso de México, la inversión en el sector agropecuario ha sido uno de los factores importantes de crecimiento, aunque su comportamiento ha sido variable durante el tiempo, influenciado por políticas públicas y condiciones de mercado (Espinosa Zamorano, 2016). El PIB agrícola, como variable macroeconómica, no solo tiene un destacado peso en la contribución porcentual al PIB total, sino que también tiene unos eslabonamientos productivos hacia atrás (demandando insumos como fertilizantes o maquinaria para la agricultura), como es el caso de la demanda de insumos de fabricación, y por otro lado hacia adelante (proveyendo materias primas para la agroindustria o para la industria alimentaria) (Rello, s.f.).

La continuidad exógena de la producción en los sectores de producción de insumos como son, entre otros, los insumos agropecuarios más los fertilizantes, cereales para la industria alimentaria, arroz o maíz de otros países, etc. hace que la variabilidad del PIB agrícola se propague por todas las variables económicas como pueden ser el empleo, la inflación o la balanza comercial- (González-

Estrada, 2013). Por otro lado, en un país de la injerencia de México, donde existe una población rural importante que vive de la agricultura, la variabilidad del PIB agrícola conecta sus efectos de manera importante sobre la pobreza y sobre la seguridad alimentaria (Ramírez-Juárez, 2022).

La teoría del ciclo económico real fue desarrollada por Kydland y Prescott (1982) que sugirió para estos autores que las fluctuaciones económicas en los períodos son una respuesta óptima de la economía a los choques tecnológicos. Esta teoría ha sido considerada para estudiar principalmente economías industrializadas o países desarrollados, sin embargo, puede servir para dar sentido a la variabilidad del PIB agrícola.

Los shocks del sector agrícola provocados por, por ejemplo, eventos climáticos extremos o por la existencia de plagas pueden considerarse shocks tecnológicos negativos en los que una caída de la función de producción genera oscilaciones en el producto agregado (González-Estrada, 2013). La identificación de estas regularidades cíclicas será fundamental para el diseño de políticas de estabilización y de gestión del riesgo.

En el campo del comercio internacional, las teorías de la ventaja comparativa desde Ricardo y el modelo de Heckscher-Ohlin tienen mucho que aportar a la comprensión del modo de funcionamiento y de comercio de los productos agrícolas. Dada la diversidad de climas y recursos de México, tiene ventajas comparativas en la producción de muchos productos que contribuyeron al desarrollo de importantes flujos de exportación (Málaga y Williams, 2010). Sin embargo, la apertura comercial expone también al sector a la volatilidad de precios internacionales y a la competencia del resto de los países, lo que a su vez puede aumentar la variabilidad del PIB agrícola. La competitividad del sector dependerá entonces de la productividad, pero también de la capacidad de hacer frente a los riesgos generados por los mercados internacionales.

La nueva economía institucional, que señala el impacto que tienen las instituciones, los derechos de propiedad y los costos de transacción, sirve de

marco que ayuda a explicar el funcionamiento del sector agrícola. La existencia de derechos de propiedad poco definidos, la limitación de acceso a los créditos y al seguro, el hecho de que existan intermediarios ineficientes puede llegar a convertirse en importantes obstáculos para la inversión y la adopción de tecnologías, además de intensificar las consecuencias de los choques externos sobre la producción agrícola (North, 1990). Las políticas de apoyo al campo en México como los subsidios y los programas de financiación han pretendido solventar alguna de las fallas de mercado, pero su efectividad ha sido puesta en cuestión (González-Estrada, 2006; Steffen Riedemann, 2007).

La variabilidad del PIB agrícola, se da cabida a la idea de la financiarización de los commodities agrícolas como elemento contemporáneo que añade complejidad a la variabilidad del PIB agrícola. El creciente grado de implicación de agentes financieros no convencionales (fondos de inversión, hedge funds y bancos de inversión) en mercados de futuros de productos agrícolas ha sido citado como una posible fuente de la volatilidad de precios desvinculada de los fundamentos de oferta y demanda (Clapp, 2009, Ghosh, 2010). Esta situación, que se conoce como financiarización, consiste en que los precios de los productos básicos agrarios están cada vez más en función de los mecanismos de inversión, la especulación de los mercados financieros internacionales y los flujos de capital internacional, lo cual puede intensificar las variaciones en los precios y por lo tanto aumentar la variabilidad de los ingresos de los productores (Basurto Hernández y Escalante Semerena, 2012).

La financiarización de los mercados agrarios se expresa de distintas formas. En primer lugar, la creación de los instrumentos de derivados financieros sobre productos agrarios permite que inversores que no tengan conexión con la agricultura puedan negociar en los mercados agrarios como una alternativa categoría de activo. Los fondos de índice de productos básicos, por ejemplo, se posicionan en largos en contratos de futuros agrícolas como parte de su estrategia de diversificación de cartera, lo cual puede ejercer presiones alcistas sobre los precios independientemente de las condiciones de oferta y demanda

física (Masters, 2008). En segundo lugar, la creciente correlación existente entre los precios de los productos agrícolas y otros activos financieros -acciones o bonos- sugiere que los factores macroeconómicos y financieros globales tienen cada vez más peso, siendo también muy relevantes en la determinación de los precios agrícolas (Tang & Xiong, 2012).

Para el caso de México, un país que se ha integrado a los mercados internacionales a través del TLCAN y otros convenios de comercio internacional, la exposición a esta volatilidad financierizada constituye un riesgo latente que, sin lugar a duda, puede tener un impacto considerable en la estabilidad del sector agrícola. El caso de los agricultores mexicanos de cultivos de exportación -por ejemplo, aguacate, tomate o café- es especialmente sensible en este sentido, pues los precios que obtienen están cada vez más determinados por factores financieros internacionales que se encuentran al margen de su capacidad de control. Esta desarticulación de los precios y las fundaciones locales de nuestras explotaciones agrarias genera unas señales equívocas a la hora de la toma de decisiones sobre las producciones, las cuales acaban conduciendo a situaciones de sobreinversión y subinversión que ofrecen un peligroso patrón positivo de variabilidad.

Un enfoque teórico alternativo de importancia es el de la investigación en sistemas agroalimentarios, que estudia las complejas interdependencias que se dan entre producción, procesamiento, distribución, consumo y residuos de alimentos.

Un enfoque integral desarrollado por autores como Ericksen (2008) o Ingram (2011) que permite demostrar cómo la variabilidad de la producción agrícola (el primer eslabón de la cadena) puede generar efectos de cascada disruptivos en todo el sistema, alterando no solo el acceso y la disponibilidad de alimentos, sino también la sostenibilidad de la producción, la equidad social o la gobernanza del sistema agroalimentario. La transición hacia un sistema agroalimentario más industrializado y globalizado ha creado oportunidades y vulnerabilidades estructurales en el caso de México.

Al mismo tiempo, este proceso transformador ha propiciado que se generen las cadenas de exportación más exitosas, como la del aguacate michoacano, que ha permitido a México posicionarse como el primer exportador mundial de esta commodity. Tales cadenas han dado lugar a la generación de empleo, a la entrada de divisas, a la mejora de los ingresos de los productores integrados, etc. Por el contrario, esta integración ha incrementado la dependencia de insumos de importación (fertilizantes, plaguicidas, semillas, maquinaria, etc.) y, por ende, ha marginado a los pequeños productores que no son capaces de atender las condiciones de calidad, de volumen y de homogeneidad que conciernen a las cadenas globales de valor (Vargas-Hernández, 2005). Esta dualidad estructural del sistema agroalimentario mexicano implica que la variabilidad del PIB agrícola tiene efectos diferenciados sobre los distintos tipos de productores y sobre las diferentes regiones.

La teoría de la resiliencia, elaborada por Holling (1973) en el campo de la ecología y que cada vez más se va aplicando a sistemas socioecológicos, puede servirnos también para fundamentar la interpretación de la variabilidad del PIB agrícola. En este sentido, la resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema para resistir perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta cambios para tener sustancialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentaciones (Walker et al., 2004). Aplicado a la agricultura, la resiliencia se refiere a la capacidad de los sistemas de producción agrícola para hacer frente a choques como pueden ser sequías, plagas, crisis económicas o cambios en las políticas públicas, así como su adaptación al cambio de largo plazo del propio cambio climático, la degradación de los suelos o los cambios en los mercados.

La resiliencia de los sistemas agrícolas puede ser analizada a diferentes escalas: desde la parcela agrícola hasta el sistema agroalimentario nacional. El nivel de parcela puede ser capaz de aumentar la resiliencia ante choques concretos mediante la diversificación de cultivos, la adopción de prácticas agroecológicas y el fomento de una mayor biodiversidad.

El nivel de sistema podría reducir la vulnerabilidad agregada gracias a la diversificación geográfica de la producción, el desarrollo de una infraestructura de almacenamiento y procesamiento o la existencia de mercados alternativos. La forma de mejorar la resiliencia del sector agrícola mexicano es, por tanto, una cuestión que no solo pasa por reducir la variabilidad de la producción, a partir de tecnologías y prácticas determinadas, sino por promover una mayor capacidad adaptativa de los productores, de las comunidades rurales y de las instituciones para transformarse ante la incertidumbre.

La mirada que propone la ecología política, tal y como presentan Robbins (2012) y Peet y Watts (2004), pone de relieve cómo las relaciones de poder y las desigualdades sociales están relacionadas con el acceso y la apropiación de los recursos naturales, pero también en cómo ello influye en la vulnerabilidad de determinadas clases sociales a los riesgos ambientales o económicos. Así, en el caso de México, la condición de desigualdad en la distribución de la tierra, el agua, el crédito o los apoyos gubernamentales se ha traducido en una heterogeneidad extrema del campo mexicano, el cual presenta un sector agrario integrado por un número pequeño de productores comerciales altamente tecnificados y capitalizados, así como un número mucho más grande de pequeños productores de subsistencia con escaso acceso a recursos productivos.

Esta desigualdad estructural, que tiene raíces históricas en el proceso colonizador, en la concentración de la tierra en el Porfiriato, y en las limitaciones del reparto agrario en la posrevolución agraria, hace que los pequeños productores sean mucho más vulnerables al PIB agrícola. Aquellos pequeños productores, que corresponden a la mayoría numérica pero una proporción de menor dimensión del valor final de la producción, poseen menor capacidad para absorber las pérdidas económicas que pueden derivarse de malas cosechas o caídas de precio, tienen menor acceso al crédito o a los seguros, y su posibilidad de diversificación de fuentes de ingreso es más limitada; los grandes productores

comerciales, en cambio, tienen mejor acceso al capital, a la tecnología y a los mercados, por lo cual pueden implementar estrategias más sofisticadas para la gestión de riesgo y tiene mayor capacidad de recuperación ante los choques.

Finalmente, la teoría de los sistemas complejos adaptativos proporciona una opción más para entender la variabilidad del PIB agrícola. Los sistemas agrícolas son sistemas complejos, en los cuales existen múltiples agentes (productores, procesadores, comercializadores, consumidores, reguladores...) que interactúan de forma no lineal y originan propiedades emergentes que no pueden ser pronosticadas a partir del comportamiento individual (Holland, 2006). Pequeños cambios pueden generar grandes efectos (efecto mariposa); los patrones de comportamiento pueden mostrar dependencia de las trayectorias, los pasados influyen en los futuros.

Esta perspectiva sugiere que la variabilidad del PIB agrícola no es sólo el resultado de choques externos aleatorios, sino que emergiendo a partir de las dinámicas del sistema; las decisiones de siembra de miles de agricultores individuales, expectativas de precios o de condiciones climáticas originan ciclos de sobreproducción y escasez que amplifican la variabilidad del precio y la variabilidad de la producción. Entender estas dinámicas complejas requiere de unos planteamientos metodológicos que se salgan de los modelos econométricos, introduciendo modelos basados en agentes, análisis de redes, etc.

2.3. Variabilidad económica y PIB agrícola

2.3.1. Definición del PIB

De acuerdo con Froyen (1997) el producto interno bruto es “una medida de todos los bienes y servicios finales producidos y evaluados a los precios del mercado”, Además, también se dice que la economía de un país crece si el PIB aumenta de un periodo a otro y decrece cuando el PIB disminuye de un periodo a otro.

2.3.2. Variabilidad económica

La variabilidad, entendida en sentido estadístico es la medida de la dispersión o diseminación de la serie de datos contenidos en una distribución (Dagnino S., 2014). Al hablar de variabilidad económica nos referimos a la variación u oscilación que tienen diversas variables económicas a través del tiempo. Dicha variabilidad económica puede ser medida en diversos formatos estadísticos (varianza, desviación estándar, coeficiente de variación [CV]). Este último (CV) se refiere a una medida de la dispersión relativa y, por tanto, será particularmente interesante para poder comparar la variabilidad entre dos o más series de datos con diferentes formatos o medias (Marwick y Krishnamoorthy, 2019).

Así, la variabilidad del PIB agrícola se refiere específicamente a las oscilaciones que presenta el valor de la producción agrícola a lo largo del tiempo. Estas variaciones pueden deberse a un gran número de motivos que van desde los choques por el clima hasta las variantes de la política que pueda tomar el gobierno. El hecho de estudiar la variabilidad del PIB agrícola es importante para la comprensión de la estabilidad de este sector, así como su relación con el resto de la economía.

2.3.3. Riesgo agrícola

El riesgo agrícola es un concepto que está íntimamente ligado a la variabilidad y hace referencia a la incertidumbre que soportan los productores agrícolas en lo que se refiere a los resultados de su actividad. Komárek et al. (2020) establecen cinco categorías principales del riesgo agrícola: riesgos de producción, riesgos de mercado, riesgos institucionales, riesgos personales y riesgos financieros.

2.3.4. Factores que influyen en la variabilidad del PIB agrícola

- a) Factores climáticos: el clima es fundamental en la producción agrícola; episodios como sequías, inundaciones, heladas y granizo, así como, en general, episodios meteorológicos extremos afectan de forma notable las cosechas, lo que vuelca sobre el PIB agrícola (Sánchez Cohen et al.,

2008). Por otra parte, el cambio climático también agrava los riesgos de los eventos climáticos adversos al aumentar la frecuencia y la severidad de estos eventos, lo cual aumenta la probabilidad de los mismos (Hernández Santoyo et al., 2023).

El clima es, sin duda, uno de los aspectos que mayor grado de determinación y menor carácter de control tiene en el sistema de producción agrícola. En particular, la agricultura de temporal, que representa una considerable superficie cultivada dentro del total, representa una gran dependencia de las lluvias y temperaturas medias (Sánchez Cohen et al., 2008).

Las sequías, por ejemplo, representan uno de los fenómenos climáticos de mayor frecuencia y severidad que afectan el campo mexicano, que generalmente se traduce en un descenso de los rendimientos de los cultivos e, incluso podría provocar, en ciertos casos, la pérdida total de las cosechas. El desarrollo agrícola del territorio mexicano ha sido marcado por ciclos de sequía con consecuencias de tipo económico y social muy profundas (Florescano, 1980).

Pero, por el contrario, las inundaciones, motivadas por huracanes, tormentas tropicales o lluvias torrenciales, son la constante amenaza con la que convive la agricultura.

Las inundaciones, además de haber causado daños directos a los cultivos, son capaces de provocar efectos devastadores en los campos como, por ejemplo, la erosión del suelo, la contaminación de las fuentes de agua e incluso la destrucción de infraestructuras rurales, es decir, caminos y sistemas de riego (Conde et al., 2006). Otros fenómenos meteorológicos de carácter extremo, como las heladas, el granizo, las olas de calor, etc., inciden también en la producción agrícola con intervenciones que afectan la producción de ciertos cultivos y regiones del país.

El cambio climático es el agente que acentúa aún más la vulnerabilidad de las actividades agrícolas respecto a estos factores climáticos. El incremento de la temperatura media del planeta afecta al régimen de

lluvias, al aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos e incluso a la desertificación de ciertas áreas del país (Hernández Santoyo et al., 2023). No sólo el impacto de las modificaciones provocadas por el cambio climático incide en la producción de los cultivos tradicionales; además, pueden modificar la distribución geográfica de las plagas y enfermedades, lo que representa una amenaza añadida para los productores (IPCC, 2021).

Una investigación realizada por Hernández Santoyo et al. (2023) en Cuitzeo (Michoacán) es una clara muestra de cómo el cambio climático puede propiciar una mayor amenaza agrícola en México. Este trabajo demuestra que existe una tendencia al aumento de la temperatura en la mayor parte de la región y la señal de cambio climático en el 80% de la región. Este tipo de análisis a escala regional es clave en la elaboración de las estrategias de adaptación y mitigación que ayuden a disminuir la vulnerabilidad del sector agrícola a los impactos del cambio climático.

- b) Factores económicos: Las oscilaciones en los precios de los productos agrícolas, en los mercados nacionales e internacionales, son una importante fuente de inestabilidad de los ingresos de los agricultores y, por ende, del PIB agrícola. Los precios de los insumos, (fertilizantes, semillas, energía) son variables y generan efectos sobre la rentabilidad de la producción (García Mata et al., 2004).

Los precios de insumos (fertilizantes, semillas, pesticidas, energía) también le generan al productor inestabilidad. El incremento de los precios de estos insumos, tomando en cuenta que muchos de ellos están en función del precio internacional del petróleo o de otros bienes básicos, pueden limitar la rentabilidad de la producción agrícola, con repercusiones ciertas en el PIB (FIRA, 2022) La dependencia de las importaciones en el caso de México de algunos de estos insumos incrementa el grado de exposición del sector a los vaivenes de los mercados internacionales.

El acceso al crédito y también a los seguros agrícolas es otro de los factores económicos que determina la variabilidad del PIB agrícola. La

noción de que las dificultades de acceso a los incentivos del crédito pueden resultar en limitaciones para los productores de contar con las herramientas necesarias para moldear tecnologías que permitan, por un lado, la productividad y, por el otro, los riesgos de estas (sistemas de riego, invernaderos) es relevante. También el hecho de que los seguros agrícolas tienen muy baja penetración en México deja a la mayoría de los productores expuestos ante los fenómenos climáticos extremos y otros choques, de lo que se sigue que el impacto de estos fenómenos climáticos extremos sea más predominante en términos de producción e ingresos (Espinosa Zamorano, 2016).

- c) Factores políticos: Las políticas del gobierno, los subsidios, los aranceles, el contingente de importación, los programas de apoyo al campo pueden afectar la producción y la rentabilidad del sector agrícola. El cambio de tales políticas puede generar incertidumbres y oscilaciones (González-Estrada, 2006).

El impacto de las políticas del gobierno en el sector agrícola es hondo y sistemático. La política comercial, mediante determinadas decisiones como tratados de libre comercio, la imposición de impuestos o barreras no impositivas se puede plasmar en el comercio y los precios de los productos agropecuarios (Málaga y Williams, 2010). El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), por ejemplo, transformó la agricultura mexicana, muy relacionada con el aumento de las exportaciones de muchos productos, hortalizas y frutas, entre otros, frente a la inmensa competencia que experimentaron los productores de granos básicos expuestos a la importación y el subsidio de los Estados Unidos (Yúnez-Naude y Taylor, 2001).

Los apoyos al campo, entre los que se encuentran subsidios a la producción, precios de garantía y apoyos a la comercialización, también incidirán en las decisiones de siembra de los productores y, por ende, en

la estructura de la producción agrícola. La política agrícola en México ha tenido diferentes enfoques, desde un modelo de sustitución de importaciones, con una fuerte intervención del Estado, hasta un modelo neoliberal, donde la apertura comercial crece y los apoyos directos se reducen (González-Estrada, 2006), sin embargo, muchos de los cambios en la arquitectura de la política agrícola recaen en la incertidumbre y la variabilidad del sector. Los subsidios agrícolas, tanto su efectividad como su equidad, ya han sido parte de debate.

Por un lado, algunos estudios postulan que los subsidios se están dando en los productores más grandes y en las regiones más desarrolladas del país, dejando fuera a los pequeños productores de subsistencia que son los más vulnerables (Steffen Riedemann, 2007; Scott, 2008), por esta razón, los subsidios se dan a unos pocos productores y puede incrementar la desigualdad en el campo y limitar el impacto de las políticas públicas en la reducción de la pobreza rural.

- d) Factores tecnológicos: El grado de adopción tecnológica constituye un elemento esencial de la productividad y de la capacidad de respuesta del sector agrícola. La incorporación de las nuevas tecnologías, tales como las semillas mejoradas, los fertilizantes químicos, la maquinaria agrícola o los sistemas de riego, fue la base a partir de la cual se instauró la "Revolución Verde", que transformó la agricultura de México, en particular, en la segunda mitad del siglo XX (Hewitt de Alcántara, 1978). Todo ello propició un relevante incremento de las cosechas y la propia seguridad alimentaria del país, no obstante, ello el acceso a la tecnología existente en el campo presenta desigualdades.
- e) En las zonas de riego del norte del país, los grandes productores comerciales han adoptado tecnologías de punta, mientras que muchos pequeños productores de las zonas de temporal del sursureste aún siguen utilizando tecnologías tradicionales con escasos niveles de productividad

(Gollin, 2010). Esta divergencia evolutiva pero dinámica tecnológica explica la heterogeneidad del sector agropecuario y la desigualdad de los niveles de ingreso y bienestar de las distintas regiones y tipos del sector agropecuario y el ingreso y bienestar de las distintas zonas y tipos de productores.

En definitiva, cabe resumir que la variabilidad del PIB agrícola en México es un hecho complejo, cuyo comportamiento es consecuencia de un amplio abanico de factores. La interactividad de factores climáticos, económicos, políticos y tecnológicos se manifiesta en una atmósfera de incertidumbre y de riesgo para los productores agrícolas, a la vez que la variabilidad del PIB agrícola es uno de los resultados de esta ruptura de la normalidad. Un análisis más exhaustivo de los factores intercambiantes del PIB agrícola es necesario para entender la forma en que se manifiesta la variabilidad en el sector agrícola y para poder poner en marcha políticas públicas orientadas a favorecer un tipo de crecimiento más estable, inclusivo y sostenible.

La volatilidad histórica se determina a partir de las oscilaciones pasadas en los precios o en el PIB, considerando medidas estadísticas como la desviación estándar de los rendimientos logarítmicos, el rango intercuartílico o medidas más robustas como la desviación absoluta mediana. Estas últimas, sin embargo, pueden ser sensibles a los valores extremos o pueden no captar bien la naturaleza cambiante de la volatilidad a lo largo del tiempo. Por otro lado, la volatilidad implícita se obtiene de los precios de las opciones financieras sobre los commodities agrícolas y, por tanto, representa la expectativa del mercado sobre la volatilidad futura (Hull, 2018).

El análisis de la volatilidad implícita es complementario de la forma de analizar la incertidumbre que ofrece el análisis retrospectivo de la volatilidad histórica, pues permite tener una mirada prospectiva sobre la incertidumbre que perciben los agentes económicos. Respecto al producto interior bruto agrícola en México, no existen mercados de opciones directas sobre dicho indicador macroeconómico,

pero el seguimiento de la volatilidad implícita de los precios de sus principales productos agrícolas de exportación (aguacate, tomate, café, ...) puede resultar un indicador adelantado de la inestabilidad esperada de los ingresos de esta actividad productiva, tal como señala la investigación por Ruiz, B. (2006) sobre el tema de la previsión de la volatilidad de precios de este sector. Efectivamente, la volatilidad puede ser incondicional o condicional, en función de si se da por constante o si se admite que varía con la información.

En lo que respecta a la seguridad alimentaria hay que avanzar en las cuatro dimensiones esenciales tal como las define la FAO: disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad. La variabilidad sobre el PIB agrícola afecta a la dimensión estabilidad, en cuanto que las variaciones en la producción o en los ingresos amenazan la continuidad del suministro de alimentos en el tiempo (FAO, 2019) aunque tiene también un impacto complejo para las otras dimensiones.

La disponibilidad se refiere a la existencia de cantidades suficientes de alimentos de una calidad adecuada y suministrados a través de la producción nacional o de las importaciones. Una caída brusca del PIB agrícola puede ocasionar que la cantidad de alimentos que hay en el mercado interno, que es un determinado nivel de disponibilidad de alimentos básicos como granos y leguminosas, sea mucho menor. El impacto sobre la disponibilidad dependerá principalmente de la capacidad del país para importar alimentos y de tener reservas estratégicas.

En el caso de México, la disponibilidad de alimentos básicos como el maíz blanco (para consumo humano), es menos vulnerable a la variabilidad del PIB agrícola que otros productos más especializados, gracias a programas de apoyo gubernamental y a la posibilidad de importar maíz amarillo para uso pecuario. El acceso hace referencia a la capacidad de los individuos para proveerse de alimentos adecuados a una alimentación nutritiva y la variabilidad del PIB agrícola puede afectar el acceso de diversas maneras. Primero, puede afectar a los ingresos por parte de los hogares rurales dependientes de la agricultura y a su poder de compra. Segundo, puede afectar a los precios de los alimentos en los mercados locales, los cuales hacen que los alimentos sean menos asequibles

para los consumidores tanto rurales como urbanos. Tercero, puede afectar a la disponibilidad de empleo en zonas rurales y por lo tanto a la generación de ingresos por parte de los trabajadores agrícolas. La extensión de estos efectos depende de la estructura de la economía local, del grado de integración de los mercadillos con mercados nacionales e internacionales y de la existencia de redes de seguridad social.

La utilización se define como el uso biológico de los alimentos por parte del organismo, incluyendo aspectos como la digestión, la absorción y el metabolismo de los nutrientes. La variabilidad del PIB agrario puede afectar a la utilización, de forma indirecta y como consecuencia de un cambio en la diversidad de la dieta, así como en la calidad nutricional de los alimentos consumidos.

En periodos de crisis se pueden adoptar estrategias de afrontamiento que acabarían comprometiendo la calidad de la dieta; un ejemplo de ello sería la sustitución de alimentos nutritivos, si bien costosos (carnes, frutas y verduras), por alimentos más baratos, pero menos nutritivos (cereales refinados, azúcares). Estrategias que podrían llevar a tener consecuencias nutricionales negativas, peor en determinados grupos vulnerables como niños menores, mujeres gestantes o ancianos (Granados Sánchez et al., 2020).

2.4. Método y herramientas para cuantificar la variabilidad

El primer paso para entender el comportamiento, sus causas y las políticas de mitigación de riesgos que se le pueden aplicar, es la medición de su variabilidad. La econometría y la estadística proporcionan una gran cantidad de herramientas para medir y analizar la variabilidad en las series temporales económicas.

En esta sección se presentan los principales métodos y herramientas que se han utilizado en la literatura para medir la variabilidad del PIB agrícola, con un especial énfasis en el análisis de series de tiempo, en los índices de volatilidad y en los modelos econométricos.

Analizando la bibliografía existente de los conjuntos de métodos econométricos que se dispone para medir y estudiar la variabilidad del PIB agrícola, conviene profundizar en los modelos de la familia GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity), así como sus numerosas extensiones. El modelo GARCH estándar de Bollerslev (1986) describe la persistencia de la volatilidad, es decir, la tendencia a que los períodos de alta volatilidad tengan una mayor agrupación temporal. Este modelo supone que los choques, positivos y negativos, de magnitudes similares presenten el mismo efecto en la volatilidad futura, algo que rara vez se cumple en los mercados agrícolas. Las extensiones asimétricas del modelo GARCH tienen toda su relevancia para el estudio de la variabilidad agrícola.

El modelo GARCH Exponencial (EGARCH) de Nelson (1991) denomina asimétricamente la respuesta del logaritmo de la varianza condicional a los choques, y que las malas noticias (choque negativo en los precios o en la producción) pueden tener una reacción de la volatilidad de distinto signo que las buenas noticias del mismo tamaño. El modelo GARCH-GJR de Glosten, Jagannathan y Runkle (1993) introduce un término de umbral que permite diferentes reacciones de la volatilidad a los choques negativos y a los positivos.

Este "efecto de apalancamiento", muy común en los mercados financieros, puede ser consideramos relevante en la agricultura; para una caída inesperada de los precios puede provocar más pánico e incertidumbre entre los productores que una subida equivalente, por lo que se pueden tomar decisiones de producción más conservadoras que conllevarán a diferentes grados de volatilidad en períodos posteriores; de la misma manera, si una buena cosecha puede dar lugar a una menor incertidumbre sobre el futuro que una mala cosecha. Los mencionados modelos GARCH multivariados, como el DCC (Dynamic Conditional Correlation) nos permiten estudiar las interrelaciones dentro de la volatilidad de diferentes productos agrícolas o la volatilidad entre el sector de productos agrícolas y el resto de los sectores de la economía.

De esta forma, son especialmente útiles para estudiar el impacto que tienen los choques entre las distintas partes que componen el PIB agrícola, así como para estudiar hipótesis de diversificación con el objetivo de reducir la agregación de la volatilidad.

La aplicación de estos modelos asimétricos y multivariados en el PIB agrícola mexicano o en el precio de los principales, sí nos puede dar información muy relevante sobre la dinámica de los choques que vienen dados por la volatilidad o bien los patrones de transmisión de los efectos de volatilidad.

Nos podría explicar incluso si el PIB agrícola muestra una respuesta distinta a choques por condiciones meteorológicas desfavorables o a choques de mercado favorables o también si existe contagio de la volatilidad de los distintos subsectores agrícolas (Granados Sánchez et al., 2020). Otra familia de modelos econométricos digna de un análisis detallado son los Modelos de Vectores Autorregresivos (VAR) y sus versiones más sofisticadas. Mientras los modelos de series de tiempo univariados se limitan a estudiar la dinámica de una única variable, los modelos VAR permiten analizar las interdependencias dinámicas de múltiples variables, incorporando en el análisis las relaciones de retroalimentación que son propias de los sistemas económicos complejos.

Un modelo VAR para el PIB agrícola mexicano consideraría un conjunto de variables que podría incluir, por ejemplo, el PIB de Estados Unidos (el principal socio comercial de México), el tipo de cambio peso-dólar, los precios internacionales del petróleo (que son determinantes para los costos de los fertilizantes), índices de condiciones climáticas (como el Índice de Precipitación Estandarizado), precios de productos básicos en mercados internacionales, o variables de política económica (como intereses o gasto público en el sector rural).

El estudio de las funciones de impulso-respuesta acoplados a un sistema VAR, permite concretar de qué forma el PIB agrícola reacciona a choques en cada una de estas variables en el tiempo. La descomposición de varianza del error de

pronóstico permite cuantificar la condición de cada uno de estos factores como fuentes de variabilidad en el PIB agrícola. Por ejemplo, esta técnica podría determinar que las condiciones climáticas explican un 40% de la variabilidad del PIB agrícola a un horizonte de un año, mientras que los precios internacionales explican el 25% y las condiciones macroeconómicas internas explican el 20%.

En caso de que se identificaran evidencias de que las variables presentan cointegración (es decir, presencia de una relación de equilibrio de largo plazo), se hace necesario ajustar las especificaciones de un VAR (o VARMA) a un Modelo de Vectores de Corrección de Errores (VEC) puesto que se incorpora información de largo y corto plazo. La cointegración supone que existen relaciones de equilibrio de largo plazo, de tal modo, aunque las variables puedan desviarse de su relación, existe una tendencia a volver a la relación de equilibrio de largo plazo.

Los modelos VAR estructurales (SVAR) dan un paso más en el establecimiento del modelo, es decir, imponen restricciones teóricas sobre las relaciones contemporáneas entre las variables y, por lo tanto, permiten identificar choques estructurales. Se podría ir más allá y, por ejemplo, a partir de modelos SVAR, determinar en particular el efecto de choques de oferta agrícola (sequías) en la variabilidad del PIB agrícola y choques de demanda (patrones de consumo).

Los modelos de cambio de régimen como los modelos de Markov Switching (Hamilton, 1989) ofrecen una segunda lectura del análisis de la variabilidad agrícola, en la línea de que la economía puede operarse en distintos regímenes (altos o bajos volátiles) y las distintas transiciones entre estos distintos regímenes pueden ser probabilísticas. En el ámbito agrícola, esto podría registrar la oscilación entre años de condiciones climáticas normales, y años en que se produjo un estrés climático, o entre años de estabilidad y los años en los que hubo crisis internacionales.

Identificar estos regímenes y las probabilidades de transición entre ellos puede resultar de interés para el diseño de políticas públicas y de los programas de

gestión de riesgos. Por ejemplo, si se diera el caso de identificar que el sector agrícola tiende a operar en algo que se puede caracterizar como un régimen de alta volatilidad durante los años de El Niño, esto podría resultar de interés en el diseño de sistemas de alerta anticipada y en el lanzamiento anticipado de programas de apoyo en los años de El Niño.

Sin duda, las herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden ser de interés como método para registrar la variabilidad agrícola en lo que se refiere a su variabilidad de acuerdo con una organización espacialmente explícita y una alta organización temporal, al margen de los métodos econométricos tradicionales. Los avances en las tecnologías satelitales han hecho posible el control continuo de superficies agrícolas extremas con diferentes resoluciones espaciales y con diferentes frecuencias temporales.

Los satélites pueden proporcionar datos de alta resolución sobre un gran número de índices biofísicos significativos para la agricultura. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es quizás el más usado, ya que es una referencia de la actividad fotosintética y de la biomasa vegetal que está muy relacionada con el rendimiento de los cultivos. El índice de vegetación para las áreas urbanas (EVI) es capaz de corregir parte de los problemas del NDVI a favor de zonas con alta densidad de vegetación. Otros índices de gran importancia son la humedad del suelo, que se mide utilizando sensores de microondas; la evapotranspiración, que se estima a partir de la temperatura de la superficie y otros datos; la temperatura de la superficie terrestre, que puede ser un indicador de estrés térmico en la vegetación cultivada; y los índices de sequía, como el Índice de Condición de Vegetación (VCI) y el Índice de Condición de Temperatura (TCI).

El análisis de las series temporales de estos índices puede potenciar el reconocimiento anticipado de anomalías, las cuales pueden tener un impacto en la producción agrícola. Por ejemplo, si en una zona productiva de primer orden se diera una caída sostenida del NDVI podría interpretarse como un indicio de estrés hídrico, o de problemas fitosanitarios, varias semanas antes de que

empiecen a aparecer en las estadísticas oficiales de producción. La posibilidad de detección anticipada en esta materia permitiría el encadenamiento de respuestas a los problemas detectados. La inclusión de estos datos de teledetección a los modelos de pronóstico de rendimiento y a la información meteorológica, a la información sobre las prácticas de manejo y a datos de campo puede permitir llevar a cabo estimaciones más precisas y en momento oportuno de producción agrícola. Los modelos de cultivo de procesos como DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) o APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator) pueden utilizar esta información para simular el crecimiento de los cultivos en distintos escenarios de clima y manejo.

En el contexto mexicano, algunas de estas herramientas ya están siendo utilizadas por instituciones como el SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) en el monitoreo de la producción agrícola, pero es importante indicar que existe un gran potencial de aplicación y mejora de la precisión de los pronósticos obtenidos. El desarrollo de sistemas operacionales de alerta temprana a partir de la teledetección puede advertirse con semanas o incluso meses de antelación la alteración del PIB agrícola y, de esta forma, poder activar los mecanismos de respuesta anticipada.

Los métodos de inteligencia artificial y de aprendizaje automático aparecen como una eficaz herramienta para analizar la variabilidad agrícola. Las redes neuronales artificiales (ANN), los algoritmos de bosques aleatorios (random forests), las máquinas de vectores de soporte (support vector machines) o los métodos de aprendizaje profundo (deep learning) son particularmente útiles para identificar patrones complejos, no lineales y con las grandes bases de datos que pueden resultar muy difíciles de obtener con métodos estadísticos tradicionales. Estos métodos son especialmente útiles para combinar varias fuentes de información heterogéneas, como datos climáticos, de teledetección, de mercados y socioeconómicos, para alcanzar pronósticos más certeros de la producción y su variabilidad. Por ejemplo, un modelo de aprendizaje automático podría utilizar datos de precipitaciones, de temperaturas, de precios de insumos, así como de

políticas gubernamentales para pronosticar la probabilidad de la producción agrícola para los diferentes escenarios de producción.

Los Modelos de Equilibrio General Computable (MEGC) estocásticos y dinámicos constituyen otra frontera metodológica de importancia considerable para el análisis de la variabilidad del PIB agrícola. A diferencia de los modelos econométricos, que se basan en relaciones estadísticas de observación en los datos históricos, el modelo EGC se basa en la teoría microeconómica que sirve para estimular cómo opera toda la economía como un sistema interrelacionado.

En el caso de un modelo EGC para la economía mexicana, podría simular cómo un choque en la producción agrícola, como podría ser una sequía severa que redundase en una producción de maíz de un 20% inferior a su nivel habitual, propaga sus efectos en la economía a distintos sectores. El modelo podría arrojar una serie de resultados en cuanto a PIB agrícola, el empleo agrícola, el empleo urbano, los precios de los alimentos, las importaciones de granos, el tipo de cambio, el bienestar de grupos de hogares, la desigualdad ante el ingreso, etc.

La imputación de elementos dinámicos a esos modelos permite también el análisis del modo como los efectos de los choques cambian a través del tiempo, en el marco de un proceso de ajuste que puede durar varios años. La incorporación de elementos estocásticos permite incrementar la complejidad del análisis, en la medida que se permite analizar impactos de la variabilidad a través de diferentes escenarios de probabilidad, lo que se traduce en la incertidumbre que se asocie con las proyecciones.

2.4.1. Análisis estadístico de series de tiempo

El análisis de series de tiempo es una de las herramientas más utilizadas para conocer la evolución de las variables económicas a lo largo del tiempo. Una serie de tiempo del PIB agrícola es una serie de observaciones sobre el valor de la producción agrícola en intervalos temporales regulares (por ejemplo, trimestral o

anualmente). El análisis de estas series permite detectar patrones, tendencias y ciclos que caracterizan la dinámica del sector.

Uno de los primeros pasos en el análisis de series de tiempo consiste en la descomposición de la serie en sus componentes básicos: la tendencia, el ciclo, la estacionalidad y el componente irregular o aleatorio. Por otro lado, la tendencia es el movimiento de largo plazo de la serie, que en el caso del PIB agrícola puede estar determinada por factores como el crecimiento demográfico, el cambio tecnológico y la acumulación de capital; mientras que el ciclo hace referencia a las oscilaciones recurrentes no periódicas en torno a la tendencia, que están vinculadas a los ciclos económicos. Se denomina estacionalidad a la oscilación que sucede en los mismos meses del año, que se puede observar en relación a tópicos como, por ejemplo, los ciclos de siembra / cosecha. El componente irregular, por último, es el que recoge los movimientos imprevisibles de la serie que no pueden ser explicados por los otros tres componentes (Gujarati y Porter, 2009).

Los modelos ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) son una de las técnicas más utilizadas para el análisis y la predicción de series temporales. Los modelos ARIMA fueron popularizados gracias a los estudios de Box y Jenkins, en 1970, y permiten modelar la evolución de una serie temporal en función de sus propios valores pasados (componente autoregresivo) y de los errores de pronóstico pasados (componente de medias móviles). Los modelos ARIMA han sido utilizados ampliamente para analizar la dinámica del PIB agrícola y, también, para afrontar pronósticos vinculados a su desenvolvimiento futuro (CEPAL, s/f.; Mora Torres y Chitiva Linares, 2024).

2.4.2. Índices de variabilidad y volatilidad

Existen diferentes índices que permiten medir la variabilidad o la volatilidad de una variable económica. La desviación estándar es una de las distintas medidas de dispersión más sencillas y utilizadas, ya que mide la dispersión de los datos respecto de la media mediante el cálculo de la dispersión promedio; en este

sentido, una desviación estándar alta indica una elevada variabilidad, mientras que una desviación estándar pequeña indica una baja variabilidad.

Sin embargo, la desviación estándar se posiciona como medida absoluta de la dispersión, lo que genera ciertas dificultades para comparar la variabilidad existente entre dos o más series de datos que contienen distintas unidades o diferentes medias, así existe el coeficiente de variación (CV), que es una medida de dispersión relativa; se calcula como el cociente de la desviación estándar y la media y se expresa en porcentaje. Cuanto mayor sea el valor del cv, mayor es la variabilidad relativa de los valores analizados (Marwick y Krishnamoorthy, 2019).

El CV resulta ser una herramienta que permite definir la volatilidad de la producción conforme a diferentes cultivos, regiones o países, sin que la escala de producción pueda alterar los resultados. Por poner un ejemplo de uso del CV podríamos determinar si la variabilidad de la producción de maíz en México es mayor o menor que la de trigo, o si la variabilidad de la producción agrícola en México es más o menos variable que en el resto de Latinoamérica. La metodología definida por Marwick y Krishnamoorthy (2019) para poner a prueba la igualdad de los coeficientes de variación de múltiples grupos es una técnica estadística a la que se le podría sacar partido en estos tipos de comparaciones. Otros de los índices de volatilidad que han sido implementados en la literatura económica son los modelos ARCH (Autorregresividad Conditional Heteroscedasticity), desarrollados por Engle (1982) y generalizaciones posteriores de este sugerido por Bollerslev (1986) mediante el contenido de la heteroscedasticidad que existe en los modelos GARCH. Este tipo de modelos permiten describir la volatilidad de una serie de tiempo como resultado de la volatilidad de tiempos anteriores. Esto es interesante para el estudio de la volatilidad de los precios de los productos básicos agrícolas, que a menudo se caracterizan por la existencia de un cluster de volatilidad (períodos de alta volatilidad que son sucedidos o seguidos de períodos de baja volatilidad).

2.4.3. Modelos econométricos

Los modelos econométricos son técnicas estadísticas que permiten cuantificar la relación entre una variable dependiente (en esta ocasión, el PIB agrícola) y un conjunto de variables independientes o explicativas. Este tipo de modelos tiene un papel fundamental para poder determinar qué factores explican la varianza del PIB agrícola y cómo se puede evaluar el impacto de las políticas públicas en este sector. Los modelos de regresión lineal múltiple se encuentran en la base de la modelización econométrica.

Estos modelos suponen que existe una relación lineal entre la variable dependiente y, en este caso, las variables explicativas. Por ejemplo, se podría estimar con un modelo de regresión la respuesta del PIB de la agricultura ante la precipitación, el precio de los fertilizantes o la existencia de subsidios para el agricultor (García Mata et al., 2004).

No obstante, las relaciones de los sistemas de producción agrícola no siempre son lineales. Por ejemplo, la lluvia puede ser beneficiosa para la producción de un cultivo hasta cierto punto, pero su efecto puede tornarse negativo ante una cantidad excesiva de lluvia. Para poder captar y estudiar este tipo de relaciones no lineales, también sería posible utilizar modelos econométricos de mayor flexibilidad como por ejemplo modelos que incluyan variables al cuadrado o los modelos agrupados no paramétricos.

Los modelos de ecuaciones simultáneas constituyen otro de los métodos econométricos relevantes para el análisis del sector agrícola. Estos modelos permiten analizar sistemas de variables que se determinan mutuamente: por ejemplo, en un determinado mercado de un producto agrícola específico, la oferta y la demanda se determinan simultáneamente, y los precios y las cantidades de equilibrio se obtienen gracias a la interacción de ambas. Los mismos modelos de ecuaciones simultáneas permiten estimar los parámetros de las funciones de oferta y demanda y estudiar cómo se transmiten por el impacto de un

determinado tipo de shock que pueda tener lugar en una parte del mercado en el resto del mismo (García Mata et al., 2004).

En los últimos años, ha habido un interés creciente en la utilización de modelos econométricos espaciales para el análisis del sector agrícola. Mediante estas metodologías se puede captar y considerar las dependencias espaciales entre las observaciones (en su caso, cómo todo aquello que puede estar sucediendo en una cierta localización tiene afectación o responde a lo que está sucediendo en las localizaciones vecinas). A esta disciplina, la econometría espacial, se la ha vinculado y relacionado con temas como el de la difusión del conocimiento, la propagación de plagas y enfermedades o la circulación de las externalidades relacionadas con las políticas agrícolas (Anselin, 2010).

En conclusión, la variabilidad del PIB agrícola tiene que ser medida a partir de un diverso conjunto de herramientas estadísticas y econométricas. Arrancando desde el análisis de series de tiempo hasta los modelos econométricos espaciales, cada una de estas herramientas nos ofrece una determinada visión de la dinámica del sector agrícola. La combinación de estos métodos es capaz de realizar un análisis más exhaustivo y con rigor de la variabilidad del PIB agrícola, pero también de las causas que la provocan y las consecuencias que de ella se derivan.

2.5. Estudios previos sobre la variabilidad del PIB agrícola en México

La variabilidad del PIB agrícola en México ha sido objeto de atención por numerosos autores a partir el estudio de diferentes formas de abordaje del tema en cuestión, el cual es objeto de análisis en la presente sección al mostrar una revisión de los estudios más relevantes que nos permiten establecer las fluctuaciones en el sector agrícola mexicano, así como hallar los principales resultados de estos, las metodologías utilizadas y las brechas de tipo literario.

Uno de los trabajos cuales sentaron las bases iniciales en el análisis de las fluctuaciones cíclicas de la producción agropecuaria en México, en este caso

tomando de base el ciclo económico, fue el de González-Estrada (2013) quien, por su parte, utilizó el filtro de Hodrick-Prescott para descomponer la serie del PIB agropecuario en su componente de tendencia y su componente cíclico. De esta forma, González-Estrada (2013) concluye que el componente cíclico del PIB agropecuario tiene una alta volatilidad y su correlación con el ciclo económico general del país es positiva. El estudio también se ocupa de los choques que surgen a partir de la oferta, en especial el caso de los eventos climáticos y las plagas, al considerarse una de las principales fuentes de variabilidad en el mismo. La metodología acompañante a este estudio, basada en el análisis de las series de tiempo, ha sido un modelo de referencia al momento de acometer investigaciones posteriores sobre el tema en cuestión.

Por su parte, Espinosa Zamorano (2016) aborda el impacto que tiene el crédito sobre el PIB agropecuario mexicano durante el periodo de 1970-2010. Se utiliza un modelo de vectores autorregresivos (VAR) y el autor llega a la conclusión que el crédito otorgado por la banca de desarrollo sí tiene un impacto positivo y significativo sobre el crecimiento del sector. En el estudio también se hace ver que el acceso al crédito es una limitante importante para muchos productores, lo que podría reducir su capacidad de invertir en tecnologías que permitan reducir la variabilidad de la producción. Este trabajo es también un ejemplo que muestra la importancia de los factores financieros como determinantes del desempeño del sector agrario. Málaga y Williams (2010) estudian la competitividad de México en la exportación de productos agrícolas dentro del contexto del TLCAN.

Los autores emplean el índice de ventaja comparativa revelada (VCR), y a partir de este índice obtienen que México ha ganado competitividad en una gran cantidad de productos hortofrutícolas; sin embargo, ha perdido la competitividad de un ámbito determinado, como es el de la producción de granos básicos. En el mismo sentido, los autores destacan que la apertura comercial ha ido aumentando la exposición del sector a situaciones de volatilidad de los precios internacionales, contribuyendo así a la variabilidad del ingreso de los productores. Este trabajo tiene la importancia necesaria para comprender qué ha

pasado con la dinámica sectorial gracias a la inserción de México en los mercados del mundo.

En un trabajo más reciente, Moctezuma-López (2023) hace una cuantificación de la contribución que la agroindustria alimentaria tiene en el PIB nacional, en el periodo entre 1993 y 2019. El autor sostiene que la agroindustria ha sido uno de los sectores más dinámicos de la economía mexicana con una tasa de crecimiento mayor que la del resto de la economía.

Sin embargo, el trabajo también advierte que el crecimiento de la agroindustria se ha concentrado en pocas empresas grandes y en la exportación de productos de alto valor y que el crecimiento de la producción de alimentos para el mercado interno ha sido relativamente lento. Este texto es importante para entender la heterogeneidad del sector agroalimentario y sus implicaciones en términos de seguridad alimentaria.

Por lo que respecta a los factores climáticos, la investigación de Sánchez Cohen et al. (2008) en la que se estudian los impactos de la variabilidad climática en México se convierte en un importante referente. Si bien el estudio no se ciñe exclusivamente al PIB agrícola sí considera los efectos de sequías y el cambio de otros eventos climáticos sobre los recursos hídricos y la producción agrícola. El trabajo destaca la alta vulnerabilidad de la agricultura de temporal ante la variabilidad climática y la necesidad de aprestar estrategias de adaptación que ayuden a mitigar el riesgo. Más recientemente, el trabajo de Hernández Santoyo et al. (2023) sobre el riesgo agrícola ante el cambio climático en la zona de Cuitzeo (Michoacán) aporta un análisis a nivel regional del impacto que están teniendo el incremento de la temperatura media del aire, así como los patrones de la lluvia sobre la viabilidad de la producción agrícola.

En relación con las políticas públicas, los trabajos de González-Estrada (2006) y Steffen Riedemann (2007) sobre los subsidios agrícolas en México son insustituibles. Los estudios explican la evolución del mecanismo de subsidios en el país en términos de subsidios generalizados a subsidios focalizados. Ambos

trabajos coinciden en que han sido los productores más grandes y las áreas más desarrolladas del país los principales beneficiarios de subsidios, lo que ha limitado su efecto en la reducción de la pobreza y la desigualdad en el campo. Son estudios importantes para entender el lugar que ocupan las políticas públicas como un componente que puede llegar a ser tanto mitigador como intensificador de la variabilidad en el sector.

A pesar de existir estos estudios, hay brechas en la literatura sobre la variabilidad del PIB agrícola en México. Primero, pocos trabajos han utilizado el CV como medida para comparar la variabilidad de la producción en el caso de varios cultivos y/o regiones del país. El uso de esta herramienta llevaría a un análisis bastante más detallado y exigente de la propia distribución de la variabilidad en el sector. En segundo lugar, la mayor parte de los estudios se han centrado en el análisis de los factores explicativos que afectan a la variabilidad del PIB agrícola a nivel nacional y sería necesario proseguir en el ámbito regional y local para comprender de qué manera interactúan los factores climáticos, económicos o políticos en contextos específicos. Finalmente, se llevan a cabo escasas investigaciones sobre el impacto de la variabilidad del PIB agrícola en la seguridad alimentaria, el empleo rural o cualquier otro indicador de bienestar social.

Resumiendo, los trabajos existentes son una base firme para el análisis de la variabilidad del PIB agrícola en México, pero es necesario continuar haciendo investigaciones para incrementar el grado de conocimiento acerca de este fenómeno valiéndonos de herramientas metodológicas más sofisticadas y haciéndonos eco de las brechas de investigación que todavía perduran. Esta revisión de literatura contribuirá a llenar algunas de estas lagunas, ofreciendo un análisis más exhaustivo y actualizado de la variabilidad del PIB agrícola, sus causas y sus consecuencias.

Una revisión exhaustiva de la literatura pone de manifiesto un complejo conjunto de estudios que, aunque no están centrados en el estudio de la variabilidad del PIB agrícola para el sector en su conjunto, proponen descripciones que sin duda

poseen una metodología muy rigurosa y unos resultados bastante específicos de distintas facetas de la inestabilidad del campo agrícola mexicano. Esta literatura se puede clasificar en un número determinante de líneas de investigación que lógicamente se articulan entre sí para proporcionar un fiel reflejo para comprender el fenómeno.

La primera línea de investigación se centra en estudiar la volatilidad de precios de productos específicos que son elementos fundacionales del PIB agrícola. El trabajo teórico de referencia que ejemplifica esta línea de investigación es el de Granados Sánchez, Aguirre Gómez y Galán Figueroa (2022). Este estudio de la volatilidad del precio del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México para el período 2000-2020 hace uso de una batería completa de modelos GARCH para caracterizar la dinámica de la volatilidad en este mercado fundamental para la seguridad alimentaria nacional. Los autores presentan evidencia contundente respecto a que la volatilidad de las variedades de frijol pinto y negro tiene una persistencia elevada, lo que significa que los precios también tienen efectos persistentes sobre la incertidumbre existente en el mercado. En concreto, cuando estiman la vida media de un choque de volatilidad en el precio del frijol pinto, entienden que la misma es de aproximadamente 8 meses, y la del frijol negro es de 6 meses. Esta persistencia de la volatilidad en el tiempo da cuenta de que las políticas de estabilización de precios deben ser sostenidas para llegar a ser efectivas.

El estudio también encuentra asimetrías significativas en la respuesta de la volatilidad, tal como que los choques negativos (reducciones del precio) generan más volatilidad futura que un choque positivo, pero de magnitud similar. Esta consideración tiene enormes implicaciones para el diseño de los instrumentos de gestión de riesgos porque indica que los productores de frijol deben enfrentar mayor incertidumbre durante los episodios de precios bajos, durante los cuales sus ingresos se ven más comprometidos.

Adicionalmente, el trabajo de Sánchez y Zermeño (2021) centrado en la volatilidad de los precios del productor de limón en la costa del Pacífico Mexicano

nos brinda un modo de aproximarnos a las variables bajo una perspectiva regional y de cultivo de exportación completamente diferente a por ejemplo, el de cultivos básicos. Para ello, la investigación es metodológicamente novedosa en cuanto al contraste de diferentes especificaciones de modelos GARCH, en este caso el TGARCH (Threshold GARCH) y el MGARCH (Multivariate GARCH) que buscan captar tanto las asimetrías como las correlaciones cruzadas de la volatilidad de la respuesta.

Las conclusiones arrojan heterogeneidad en cuanto a la persistencia de la volatilidad entre los estados productores de limón donde Michoacán, el mayor productor, resulta tener una persistencia de volatilidad menor ($\alpha_1 + \beta_1 = 0.412$) que la que presenta Colima ($\alpha_1 + \beta_1 = 0.687$). Los resultados sugieren que los choques de precios son más breves en el mercado michoacano que en el resto de mercados, probablemente debido a que posee una mayor amplitud y diversidad de canales de comercialización. Esa heterogeneidad regional hace hincapié en la relevancia de los factores locales e institucionales tanto en la inestabilidad de los precios.

El estudio también revela efectos de apalancamiento importantes, donde las disminuciones del precio dan lugar a mayor volatilidad futura que las subidas. Tal circunstancia es consistente con la idea de que los productores de cultivos de exportación afrontan más incertidumbres en momentos de precios bajos, en donde pueden llegar a dudar de la viabilidad de mantener la producción orientada al exterior.

Por su parte, una segunda línea de investigación se particulariza en el estudio de la transmisión de choques macroeconómicos al sector agrícola. El estudio pionero de Basurto Hernández y Escalante Semerena (2012), aunque previo al principal período de estudio de este trabajo, nos aporta un marco metodológico interesante y unos resultados que aún resultan pertinentes a la hora de comprender cómo las crisis económicas se transmiten al sector agropecuario mexicano. Los autores realizan un análisis comparativo del impacto de las crisis

de 1995 y 2009 en el PIB agropecuario. En dicho análisis se encuentran diferencias significativas tanto en los canales de transmisión del impacto como en la magnitud de este en el tiempo. En el caso de la crisis de 1995 (relacionada con la relación entre devaluación del peso y crisis del “Tequila”) el impacto en el sector agrícola era más inmediato y agudo, el PIB agropecuario caía a un ritmo de 2.8% en términos reales. Esta mayor vulnerabilidad se puede explicar por varios motivos: por una parte, la elevada dependencia del crédito doméstico (que se contrae severamente), por otro, la coincidencia de la crisis con condiciones climáticas adversas (sequías en el norte del país) y por último, por una menor integración en los mercados internacionales que pudiera haber configurado canales alternativos de demanda.

En comparación, la crisis financiera global de 2009 se tradujo en un impacto más moderado en el sector agrícola, el PIB agropecuario caía apenas sólo un 0.5%. Los autores atribuyen esta menor vulnerabilidad a varios de los cambios estructurales que se habían dado en el sector durante los intermedios: mayor diversificación de los mercados de exportación, menor dependencia en el crédito bancario doméstico, mejor capacidad de respuesta institucional a las crisis (como el programa de apoyo contingente PROCAMPO).

La comparación histórica subraya que la vulnerabilidad del sector agrícola a las crisis macroeconómicas no es una cuestión estática, sino que evoluciona, dependiendo de los cambios que se han producidos en la estructura productiva, en las relaciones comerciales y en el marco institucional. Una de las importantes implicaciones es que las lecciones de las crisis pasadas deben ser tomadas con cautela y se deben tener en cuenta los cambios estructurales que pueden haber cambiado los canales de transmisión.

El estudio también aporta una metodología de análisis de cointegración para encontrar las relaciones de largo plazo entre el PIB agrícola y algunas variables macroeconómicas como el PIB total o el tipo de cambio y las tasas de interés. Los resultados apuntan a la existencia de un equilibrio de largo plazo entre estas variables, dado que las dinámicas de ajuste pueden llevar varios trimestres, lo

cual demuestra porque los efectos de las crisis macroeconómicas en el sector agrícola pueden perdurar mucho más allá del periodo inmediato a la crisis.

En tercer lugar, una línea de investigación, aunque no directamente relacionado con la variabilidad del PIB agrícola dando el contexto de lo social y lo económico que resulta necesario para entender las consecuencias de la variabilidad del PIB agrícola, es la realización de estudios sobre pobreza rural, migración y mercados laborales agrícolas los cuales dan cuenta de las condiciones de vulnerabilidad estructural que caracterizan a buena parte del sector rural mexicano.

Los reportes periódicos que elabora CONEVAL sobre la pobreza en la población jornalera agrícola ofrecen una evidencia adicional en la vulnerabilidad estructural del sector rural. En este sentido, el reporte más reciente (CONEVAL, 2020) refleja que el 67.4% de la población jornalera agrícola está en pobreza multidimensional, en comparación con el 41.9% de la población nacional. La muy alta proporción de la pobreza revela el carácter precario de las condiciones de empleo que ofrece el sector agrícola: salarios bajos, estacionalidad del empleo, falta de prestaciones sociales, además de condiciones de trabajo a menudo inadecuadas.

Justo en virtud de que la alta proporción de pobreza que presentan los trabajadores agrícolas significa que incluso pequeños cambios en el PIB agrícola pueden tener consecuencias severas en el bienestar de millones de familias, es que podemos afirmar que el cambio en la actividad diurna de los trabajadores agrícolas se traduce en todo caso y por definición en una migración forzada. Los jornaleros agrícolas que, según CONEVAL, constituyen una fuerza laboral de aproximadamente 2.5 millones de personas con muy limitadas capacidades de ahorro y de diversificación de ingresos, resultan particularmente vulnerables a la variabilidad en las demandas de trabajo agrario. Una cuarta línea de investigación se centra en los efectos de políticas, concretas, sobre la variabilidad del sector agrícola.

El análisis de González-Estrada (2016), que aborda las aportaciones económicas y sociales que el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,

Agrícolas y Pecuarias) hace a la agricultura mexicana, proporciona evidencias de la función que la investigación y el desarrollo tecnológico desempeñan en la disminución de la variabilidad productiva. Mediante el uso de una metodología de evaluación de impacto que se basa en el análisis del excedente económico, el estudio da cuenta de que las tecnologías que han sido desarrolladas por el INIFAP han generado beneficios económicos acumulados que son de aproximadamente 15,000 millones de pesos (esta cifra corresponde a pesos del año 2015) en el período 1985-2015. De mayor relevancia a los efectos de la temática de variabilidad, el estudio también da cuenta de que las variedades mejoradas, que son desarrolladas por la citada institución, han determinado la disminución significativa de la variabilidad de rendimientos en cultivos básicos como son el caso del maíz, el trigo y el frijol.

Para ser más explícitos, las variedades de maíz que son tolerantes a sequías que han sido desarrolladas por el INIFAP tienen coeficientes de variación de rendimiento que son 25-30% más bajos que los de las variedades tradicionales en sistemas de temporal. Esta disminución en la variabilidad de rendimientos a nivel de parcela se traduce en menor variabilidad a nivel del PIB agrícola, sobre todo en años de condiciones climáticas adversas.

El estudio además documenta que la adopción de tecnologías del INIFAP ha sido desigual, pues ha sido más elevada a nivel de los productores comerciales que a las de productores pequeños de subsistencia, lo que contribuye a la heterogeneidad en el estado de vulnerabilidad ante choques en el sector agrícola.

Finalmente, una línea emergente de investigación utiliza técnicas vinculadas al análisis espacial de la variabilidad agrícola y sus determinantes. Aunque esta literatura es aún incipiente en México, estudios como el de Sánchez-Cohen et al. (2018) sobre disponibilidad de agua para la agricultura bajo escenarios de cambio climático vaticinan la existencia de evidencias que documentan la heterogeneidad espacial en la vulnerabilidad agrícola.

Empleando modelos de circulación general acoplados con modelos hidrológicas, los autores prevén cambios significativos en la disponibilidad de agua para riego en las distintas regiones del país. Sus resultados dan cuenta de que la variabilidad en la producción agrícola podría aumentar significativamente en regiones como el noroeste (caso de Sonora y Sinaloa) y el Bajío (caso de Guanajuato y Michoacán), las cuales actualmente son pilares en la producción agrícola comercial.

De manera concreta, se espera que para el horizonte temporal 2041-2070 se presenten reducciones de 15-25% en la disponibilidad de agua para riego en esas localizaciones, niveles que podrían incrementar de manera considerable la variabilidad interanual de la producción. Esta evidencia apunta a que probablemente la variabilidad del PIB agrícola se acrecentará en las futuras décadas debido al cambio climático, salvo que se tomen medidas de adaptación.

La bibliografía sobre variabilidad en la agricultura mexicana, si bien está fragmentada y centrada en aspectos concretos, ofrece evidencia convergente en una serie de puntos:

- f) la volatilidad de precios de productos agrícolas presenta persistencias y asimetrías que aumentan la incertidumbre de los productores;
- g) la vulnerabilidad del sector ante choques macroeconómicos ha cambiado en el tiempo, pero sigue siendo importante;
- h) hay mucha heterogeneidad en la vulnerabilidad entre tipos de productores y entre regiones;
- i) las condiciones de pobreza y precariedad estructurales presentes en el sector rural propagan las externalidades sociales de la variabilidad económica.

Esta evidencia apunta a la necesidad de políticas públicas que reconozcan la complejidad y heterogeneidad del problema de la variabilidad agrícola e integren medidas de estabilización económica con estrategias de reducción de la vulnerabilidad social y aumentación de la capacidad de adaptación del sector.

2.6. Impacto de la variabilidad del PIB agrícola en la economía mexicana

El efecto que genera la variabilidad del PIB agrícola supera en gran medida la frontera del sector primario generando una complicada red de efectos de segundo y tercer orden que se trasladan a raíz de una serie de canales de transmisión que inciden de manera simultánea y que participan de una forma reforzante, generando efectos sistémicos que pueden ser considerablemente superiores al choque inicial en el sector agrícola.

Uno de los canales de transmisión más relevantes y en toda línea de forma más directa es cuando comienza a incidir a través del mecanismo inflacionario. Alteraciones inesperadas en las cantidades obtenidas de producción de alimentos básicos, entre otros productos, como por ejemplo el maíz, el frijol, el tomate, la cebolla, etc. elementos base de la dieta mexicana pueden traducirse en intensas presiones inflacionarias en la canasta básica de consumo. Este impacto es particularmente acusado, dado que los alimentos tienen un elevado peso específico en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) que alcanza un 15% del índice total, aunque su peso efectivo es todavía mayor en los deciles de menores ingresos (Banco de México, 2021).

La transmisión de shocks agrícolas a la inflación general se ejecuta a través de diferentes canales. En primer lugar, existe un efecto directo a través del componente de alimentos del INPC. La cosecha de tomate representa, por ejemplo, que una disminución de cosecha en 10%, puede llevar a un aumento de precios al consumidor que puede estar en el orden de magnitud de 15 a 20% dado que la propia elasticidad de la demanda de este producto en el corto plazo es muy baja. En segundo lugar, existe un efecto indirecto asociado a los costos de producción de alimentos procesados y servicios de alimentación (restaurantes, comedores industriales). La intensidad de estos efectos inflacionarios varía de manera notable según el producto considerado y la estación del año. Los shocks en la producción de frutas y verduras suelen ser inflacionarios mucho más inmediatos y menos persistentes, producto de la propia perecibilidad de estos productos y la posibilidad de sustituirlos por las

importaciones. Por el contrario, los shocks en la producción de granos básicos, aunque sean menos frecuentes debido a la existencia de reservas estratégicas, son de efectos más persistentes.

La inflación alimentaria provocada por la variabilidad agrícola afecta de manera desproporcionada a los hogares de menores ingresos, que destinan una mayor parte de su gasto total a los alimentos. Con datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2020, los hogares del primer decil de ingresos dedican aproximadamente el 35% de su gasto a alimentos, mientras que los del décimo decil apenas el 12%. Dicha diferencia implica que el incremento del 10% de precios de los alimentos tiene como consecuencia que el poder adquisitivo del primer decil decrezca en un 3.5%, mientras que el décimo decil sólo lo vea decrecer en un 1.2%.

Este fenómeno de inflación diferenciada puede, seguramente, generar presiones sociales y políticas para aumentos salariales, en particular del salario mínimo, lo que hace más complicada la conducción de la política monetaria. El Banco de México debe establecer un equilibrio en la necesidad de mantener la estabilidad de precios y al mismo tiempo el reconocimiento de que los choques de oferta agrícola son transitorios y no necesariamente deben conllevar una respuesta de política monetaria restrictiva. Sin embargo, si estas perturbaciones se entienden como permanentes o si las mismas producen expectativas inflacionarias desancladas, podrían requerir una respuesta más contundente de la política monetaria.

Por el contrario, los casos en los que hay sobreproducción agrícola podrían dar lugar a deflación de precios de alimentos, lo que, en el corto plazo, beneficia a los consumidores de las áreas urbanas mientras que a la vez acarrea grandes problemas para los productores de áreas rurales. Los desplomes de precios pueden resultar en enormes pérdidas para el colectivo de productores, lo que disminuye los ingresos que perciben y la capacidad de afrontar procesos de asunción de riesgo de inversión que puedan derivar en un crecimiento del sector en el futuro. En este sentido, el proceso cíclico de expansión y colapso puede dar

lugar a un ciclo de variabilidad marcada, en el que períodos de sobreproducción y precios bajos pasan a dar paso a otros de subproducción y precios altos.

El segundo canal de transmisión importante queda definido a través de la balanza comercial y el sector externo. El sector agroalimentario y agropecuario mexicano se ha servido para convertirse en un generador muy importante de divisas, alcanzando el nivel más alto de exportaciones en 50.9 mil millones de dólares en 2022 con un superávit comercial de 6.6 mil millones de dólares (SADER, 2023). Esta capacidad neta exportadora hace que la variabilidad de la producción agrícola tenga efectos directos sobre la variabilidad del sector externo de la economía. Variabilidad de la producción en el país, que puede dificultar la llegada a compromisos de exportación, razón por la cual no se obtendrán divisas y se puede generar desconfianza comercial por parte de los socios comerciales. U otra posibilidad: una sequía que afecte la producción de aguacate en Michoacán provocaría menores ingresos para los productores aguacateros de la región y también disminuiría las exportaciones de aguacate a Estados Unidos hasta fronteras de 2.5 mil millones de dólares anuales.

Otra complicación que entra en juego es que México es aún un importador neto de algunos granos básicos, particularmente maíz amarillo, trigo, soya y arroz. Una baja en la producción de estos tipos de granos provocaría un aumento en la importación, lo que haría que la balanza comercial se presionara y presionara el país a la volatilidad de precios internacionales y del tipo de cambio. Por ejemplo, México importa 16 millones de toneladas de maíz amarillo/año, principalmente de Estados Unidos, por un importe aproximado de 3.5 miles de millones de dólares.

La variabilidad del PIB agrícola también puede impactar el tipo de cambio mediante varios mecanismos. En primer lugar, los cambios en los flujos de divisas procedentes de exportaciones agrícolas pueden influir en el suministro de dólares en el mercado de tipos de cambio. En segundo lugar, la inestabilidad en la capacidad del país para generar divisas mediante exportaciones agrícolas puede afectar las previsiones de los inversores y los flujos de capital. En tercer lugar, los

efectos de la inflación a la que hacen referencia los choques agrícolas pueden influir en la competitividad del tipo de cambio real.

El tercer canal de transmisión se produce a través del mercado laboral, especialmente en las zonas rurales donde la agricultura es uno de los principales motores de ocupación. De acuerdo con el INEGI, el sector primario abarca directamente para 6.8 millones de personas, esto representa el 12.4% del trabajo total de la nación. Pero a su vez, esta cifra representa una subestimación de la importancia real del sector primario al no ser parte del sector primario la relación del empleo asociado a actividades vinculadas, es decir, el transporte, el procesamiento, la comercialización y, finalmente, de los productos agrícolas.

Los cambios en la producción agrícola tienen su reflejo inmediato en los cambios en la demanda de trabajo rural. La agricultura mexicana tiene una alta estacionalidad del empleo, es decir, en el contexto de las épocas de siembra y cosecha se proporcionan picos de demanda, a la vez que la variabilidad interanual de la producción de la agricultura les va a dar un fuerte incremento de la estacionalidad del empleo, es decir, los años de mala cosecha se convierten, por su naturaleza, en años de desempleo rural masivo.

En años de crisis agrícola, la pérdida de empleos en el campo puede acentuar la pobreza en el campo y llevarla a incrementar la migración hacia las localidades urbanas o bien hacia los estados unidos. La migración que inducen la variabilidad agrícola también propicia problemas sociales complejos en las zonas urbanas, como disponibilidad restringida de los servicios públicos (salud, educación, vivienda), extensión de la informalidad laboral, y el deterioro de las condiciones de vida en las zonas periféricas de la ciudad.

La migración inducida por la variabilidad agrícola también conlleva la pérdida de la capacidad del capital humano durante la permanencia en las zonas rurales, especialmente si los migrantes son jóvenes con más educados. La "fuga de cerebros" rural puede llegar a reducir la capacidad de innovación y adaptación

del sector agrícola, configurando un círculo vicioso de estancamiento y mayor vulnerabilidad.

El cuarto importante canal de transmisión mediante el cual la variabilidad agrícola impacta la dieta y la calidad de vida de las personas es a través del sistema financiero rural. La variabilidad del PIB agrícola lleva a cambios en la calidad de la cartera crediticia de las instituciones financieras que operan en el sector rural, incluidos los bancos comerciales, las instituciones de microfinanzas, o las cooperativas de ahorro y crédito.

Durante los años caracterizados por consideradas malas cosechas se registra un considerable incremento de la cartera que ha caducado y deudores en el sector agrícola rural, lo que puede acarrear una eventual restricción del crédito rural en años siguientes dado que la restricción crediticia puede agudizar los efectos de los choques que afectan a las cosechas en el sentido de que reduce la capacidad de los productores de financiar la siguiente producción rural, lo que puede llevar a los productores a reducir el uso de insumos (fertilizantes, semillas mejoradas, pesticidas) lo que puede, a su vez, deteriorar la productividad y acrecentar la vulnerabilidad frente a los choques subsecuentes en años de malas cosechas. El sistema financiero rural de México es altamente concentrado geográfica y sectorialmente, lo que favorece la amplificación de los efectos de los choques localizados. Por ejemplo, las instituciones de crédito que operan en regiones cuya especialización productiva se centra en cultivos concretos (como el aguacate en Michoacán, o los berries en Jalisco) están especialmente expuestas a la volatilidad de estos sectores.

El quinto canal de transmisión se canaliza a través de los efectos fiscales que tiene la propia volatilidad del PIB agrícola. El gobierno mexicano aplica una serie de programas de apoyo al sector rural que abarcan desde subsidios directos a la producción, hasta programas de aseguramiento, de comercialización, o de desarrollo rural. El gasto público en el sector rural es del orden del 1.2% del PIB, según la información de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

En los años de crisis agrícola, la oferta de apoyo gubernamental tiene una fuerte presión a la alza en el gasto público. Por ejemplo, los programas de atención a las contingencias climatológicas podrían hacer necesario contar con recursos extra de varios miles de millones de pesos, en los años que se produzcan desastres naturales de magnitud. El fideicomiso para desastres naturales (FONDEN) ha hecho un promedio de erogación de 8,500 millones de pesos de forma anual, durante la última década; a lo largo de este período el mismo ha sido objeto de notables variaciones, ocasionado por la gravedad de los acontecimientos climáticos.

La generación de desastres naturales que impacten un área agrícola extensa tal vez haga necesario activar los fondos emergentes y atender programas de reconstrucción extraordinarios, generando así gastos no previstos en el programa presupuestario. Así, los gastos pueden que a largo plazo se produzcan recurrentemente si la magnitud de estas crisis requiere una atención constante, ya que la financiación de estos programas de apoyo tal vez comprometa la sostenibilidad de las finanzas públicas o requieran la reasignación de recursos desde otros sectores prioritarios, como salud, educación o infraestructura.

Más allá del gasto concreto dirigido a cubrir programas de apoyo, la variable del PIB agrícola puede llegar a impactar los ingresos fiscales por varios mecanismos. En primer lugar, podría impactar la recaudación del Impuesto Sobre la Renta de personas físicas, en las zonas rurales. En segundo lugar, podría impactar la recaudación del IVA, a través de un efecto en el consumo de bienes y servicios. En tercer lugar, podría llegar a impactar los ingresos por aranceles, a través de su efecto en las importaciones de productos agrícolas.

2.6.1. Efectos en el empleo rural y la seguridad alimentaria

El sector agrícola es una fuente de empleo muy importante en las zonas rurales de México. De acuerdo con las cifras del INEGI, el sector primario emplea aproximadamente 13 % de la población ocupada del país, lo que significa millones de personas que dependen de la agricultura de manera directa (ILCE,

2023). Luego, la variabilidad de la producción agrícola afecta a la estabilidad de los empleos que presenta este sector; de hecho, cuando hay malas cosechas, causadas por sequías, inundaciones y demás, la demanda de mano de obra en el campo desciende y puede llegar a generar desempleo, subempleo e ingresos en los hogares rurales (De Janvry y Sadoulet, 2011). La variabilidad del PIB agrícola también tiene un fuerte efecto en la seguridad alimentaria, en particular de la población más vulnerable.

La FAO define la seguridad alimentaria como el acceso físico, social y económico a los alimentos por parte de personas. Esta seguridad alimentaria está directamente ligada a la disponibilidad y la estabilidad de la producción de alimentos. Las reducciones de la producción agrícola restringen la disponibilidad de alimentos en el mercado, lo que puede traducirse en un aumento de los precios y, por ende, la posibilidad de cotizar una canasta de alimentos básicos para las familias de menores ingresos (Ramírez-Juárez, 2022).

La investigación de Ramírez-Juárez (2022) sobre seguridad alimentaria y agricultura familiar en el caso de México proporciona información muy interesante y reveladora. El autor retoma que, aunque en los últimos años México ha mostrado una balanza agroalimentaria superavitaria, no hay una relación entre esto y la seguridad alimentaria de la población en pobreza rural extrema. La especialización en cultivos de exportación, fomentada por el modelo neoliberal, debilitó la producción de alimentos básicos para el mercado interno, aumentando la dependencia y vulnerabilidad ante la variabilidad de los precios internacionales. El autor concluye que existe un círculo vicioso de bajos ingresos, pobreza e inseguridad alimentaria que se reproduce socialmente en la agricultura familiar, ya que la variabilidad de la producción es un factor que permite aumentar la prevalencia de esa relación.

2.6.2. Impacto en las cadenas de valor y otros sectores económicos

El sector agrícola forma parte de una compleja red de cadenas de valor vinculadas a otros sectores de la economía y la variabilidad en la producción

agrícola puede tener efectos en cascada a lo largo de estas cadenas. La agroindustria que elabora materias primas del campo para la producción de alimentos y bebidas es uno de los sectores más directamente afectados. Si disminuye la producción de un determinado cultivo, puede disminuir la cantidad de materia prima disponible para la industria, en la que eso puede traducirse en una reducción en la producción y el empleo en ella, así como en la rentabilidad (Moctezuma-López, 2023). Además, los eslabonamientos productivos que se dan en la agricultura también se expanden hacia otros sectores como el transporte, el almacenamiento y la comercialización, servicios que pueden verse perfectas y de manera negativa en la actividad si cae la producción agrícola. Por el contrario, una realización excelente de la cosecha puede provocar un incremento de la demanda de dichos servicios, dado que es posible que se incrementen (Rello, s.f.).

El trabajo de Rello (s.f.) que estudia la forma en que se enlazan los eslabonamientos productivos de la agricultura y la agroindustria y su efecto en la capacidad de generar empleo en México es radial para entender estas influencias. El autor estudia las formas de unir las cadenas de valor y también los efectos que puede causar un pequeño cambio dentro de un eslabón de la cadena productiva en la cadena de valor. Este trabajo enfatiza la importancia de buscar las mejores canalizaciones entre pequeños productores y la agroindustria para fomentar un desarrollo más solidario como también para disminuir la vulnerabilidad del sector a los choques en el mercado.

2.6.3. Consecuencias macroeconómicas

La variabilidad del PIB agrícola también tiene consecuencias económicas a nivel macro. No obstante que la participación de sector agrícola en el PIB total del país ha tenido una tendencia decreciente en los últimos decenios, no deja de ser lo suficientemente relevante para hacer que la variabilidad en la producción agrícola pueda impactar el crecimiento económico en su conjunto. En años de sequía extrema, por ejemplo, el PIB agrícola podría caer varios puntos porcentuales de la tasa de crecimiento del PIB nacional (González-Estrada, 2013).

La evidencia antes reseñada muestra que la variabilidad en la producción agrícola pudiera tener efectos en la inflación. Una caída de la producción de precios de productos agrícolas sería capaz de generar presión inflacionaria en los precios de la canasta básica; dicho efecto podría influir la pérdida del poder adquisitivo de los consumidores y, a la vez, obligar al banco central a crear políticas monetarias más restrictivas, lo cual influiría el crecimiento también (Banco de México, 2022).

Por último, la variabilidad del PIB agrícola también puede tener su efecto en la balanza comercial. En años de malas cosechas, en el máximo de la producción y la popularidad entre los alimentos, México puede verse obligado a aumentar sus importaciones de alimentos para satisfacer la demanda interna, de esta forma un déficit pudiera hacerse presente en la balanza comercial agroalimentaria; mientras que, en años de buenas cosechas, México puede coincidir en aumentar sus exportaciones, lo que podría ser parte del superávit comercial (Málaga y Williams, 2010)

2.7. Políticas y estrategias para mitigar la variabilidad del PIB agrícola

La disminución de la variabilidad del PIB agrícola es un objetivo de política pública en México, ya que el mismo contribuye a la estabilidad de la economía, la seguridad alimentaria y el bienestar de la población rural. México ha implementado, a lo largo de su historia diferentes tipos de políticas o de estrategias frente a los riesgos que afectan a la agricultura.

Enseguida, se analizan algunas de las principales intervenciones de la política pública y estrategias privadas para mitigar la variabilidad del PIB agrícola, clasificándolas en tres grupos: el diseño de programas públicos de apoyo al sector, el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático, el diseño de innovación tecnológica y financiera.

El diseño y la implementación de políticas y de estrategias adecuadas y efectivas para reducir la variabilidad del PIB agrícola, requiere de un enfoque que sea

integral y multipartito, que se cuenta de la complejidad que poseen las causas de dicha variabilidad y de la pluralidad de actores y de contextos en el sector agrícola del país. Las estrategias más prometedoras son las que integran innovaciones en los instrumentos de gestión de riesgos, inversiones en infraestructura y tecnología, reformas institucionales, y el fortalecimiento de las redes de seguridad social.

En lo que respecta a la innovación en los instrumentos de gestión de riesgos, los seguros agrarios basados en índices constituyen una de las zonas de frontera más prometedoras. En contraposición al seguro agrícola convencional, el seguro agrícola de índices, que indemniza por una desviación relativa a un índice objetivo y medible (como una estación meteorológica, la temperatura media o un índice de vegetación obtenido mediante teledetección), indemniza en función de la desviación de un índice objetivo y medible.

Esto ofrece una serie de ventajas: en primer lugar, reduce los costos de transacción de manera importante al eliminar la verificación de pérdidas y, por tanto, poder ofrecer la cobertura a un precio más accesible; en segundo lugar, elimina el riesgo moral ya que los productores no pueden alterar el índice que determine la indemnización; en tercer lugar, permite la indemnización sin pérdida de tiempo, ya que no requiere un proceso de verificación de pérdidas complejo. En México existen experiencias piloto hechas de seguros basados en índices, en especial en cultivos como el maíz y en frijoles en el estado de Guanajuato y en Jalisco. AGROASEMEX, en colaboración con el Banco Mundial, implementó un programa piloto que demostró que este tipo de seguros puede inducir tasas de adopción de entre el 60 y el 70 por ciento en pequeños productores, algo muy superior a lo que la adopción del seguro tradicional genera, que se encuentra dentro del 15 y el 20 por ciento.

Los principales retos a la escalabilidad de estos instrumentos se refieren al riesgo de índice, que significa que el índice no refleja adecuadamente las pérdidas individuales de los productores, algo que se podría contrarrestar con el diseño de los índices, que harían uso de múltiples fuentes de información (meteorológica,

satelital, agronómica) y la calibración de los índices a través de las series históricas de rendimientos a nivel local.

Otro reto es la necesidad de educación financiera y capacitaciones, especialmente para que los productores comprendan el funcionamiento de estos instrumentos. La experiencia internacional indica que para que el caso de éxito de los seguros basados en índices funcione son necesarios programas de capacitación muy intensivos y la participación de las organizaciones de los productores en el diseño y la promoción de los productos.

Por otra parte, el desarrollo de mercados de futuros y opciones en productos agrícolas mexicanos representa otra innovación con mucho futuro por delante. Pese a que existe el Mercado Mexicano de Derivados (MexDer), la liquidez y el volumen de negociación de los contratos agrícolas siguen limitadísimos en relación con unos mercados agrícolas bien desarrollados, como el Chicago Board of Trade.

El impulso de estos mercados puede dotar a los productores de herramientas de gestión de la volatilidad de precios. Los contratos de futuros permiten a los productores establecer con anterioridad a la siembra un precio de venta para la cosecha, reduciendo la incertidumbre sobre sus ingresos. Las opciones ofrecen resguardos frente a caídas de precios sin ceder la posibilidad de beneficiarse de aumentos.

La evolución de estos mercados requiere de diversas condiciones. En primer lugar, es necesario contar con un marco regulatorio robusto que entregue confianza a los participantes y que haga disminuir el riesgo de contraparte. En segundo lugar, hace falta la estandarización de los contratos que reflejen las características propias de los productos mexicanos (variedades, calidades, puntos de entrega). En tercer lugar, es preciso construir la infraestructura de almacenamiento y certificación que permita la entrega física de los productos.

El gobierno puede tener una función catalizadora de todo este proceso adoptando varias medidas: fomentando la creación de bolsas regionales de productos básicos, ofreciendo garantías para hacer disminuir el riesgo de contraparte, subsidiando con el costo de formación a los productores en el uso de estos instrumentos, y haciendo uso de estos mercados para las operaciones de compra-venta de reservas estratégicas. En el campo de las políticas destinadas a abordar los problemas relacionados con el cambio climático, se trata de ir más allá de las prácticas de inversión más típicamente tradicionales de infraestructura de riego, al mismo tiempo que se fomenta la evolución hacia un tipo de enfoque completamente diferente, que se denomina agricultura climáticamente inteligente (Climate-Smart Agriculture, CSA). La CSA, tal y como se define desde la FAO, trata de transformar y reorientar los sistemas agrícolas para conseguir conjuntamente los tres siguientes objetivos: incrementar de forma sostenible la productividad y los ingresos agrícolas, por un lado; adaptarse y crear resiliencia y resistencia al cambio climático por otro; y hacia la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, siempre que sea posible.

La implementación de la agricultura climáticamente inteligente requiere un portafolio diversificado de prácticas y tecnologías agrícola que respete las condiciones específicas de cada región o bien de cada sistema de producción. En las áreas áridas y semiáridas del área norte de México las prácticas centrales se refieren a agricultura de conservación (siembra directa, coberturas permanentes de suelo, rotación de cosechas), gestión eficiente del agua (riego de goteo, sensores de humedad del suelo), y variedades tolerantes a sequía-calor.

En las áreas tropicales del sur-sureste las prácticas centrales son los sistemas agroforestales (combinación de cultivos con árboles que proporcionan sombra, diversificación de ingresos), gestión integrada de plagas (que reduce la dependencia de pesticidas), y la conservación de la biodiversidad (que proporciona servicios ecosistémicos como polinización, control biológico, etc).

Las prácticas de, CSA deben de estar centradas en el enfoque participativo que incluye a productores, investigadores, extensionistas, etc. en el diseño y adaptación de las tecnologías. Asimismo, requiere incentivos económicos adecuados, en tanto que muchas de las prácticas de CSA requieren realizadas inversiones de capital de inicio importantes. Asimismo, las prácticas agrícolas conservacionistas pueden ser de recuperación prolongada.

Un campo de prueba donde se dan las condiciones para el alineamiento de incentivos económicos y sostenibilidad se puede ver en el programa de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) de CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), ya que esta forma de pago es en realidad un pago a los propietarios de bosques y selvas por mantener la cobertura forestal, teniendo en cuenta los servicios ambientales que se proveen (captura de carbono, conservación de biodiversidad, regulación hídrica, etc.). Una alternativa respecto de aquellos sistemas de cambio de prácticas agrícolas podría ser enfocar las prácticas agrícolas, como la agricultura de conservación o los sistemas agroforestales, con la provisión de servicios ambientales.

Otra prioridad importante es la mejora de sistemas de información climática y de alerta temprana. México cuenta con una red amplia de estaciones meteorológicas gestionadas por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), pero en ocasiones la información generada no llega a los productores en los formatos que estos necesitan con la agilidad necesaria. Para desarrollar sistemas de alerta temprana específicos para la agricultura es importante tener en cuenta la información meteorológica, climatológica y agronómica, porque a través de ella se pueden generar pronósticos de riesgo en escalas temporales y espaciales diferentes. Un sistema de alerta temprana para sequía agrícola es un ejemplo que combina pronósticos estacionales de precipitación y la información sobre las reservas de humedad del suelo y las etapas fenológicas de los cultivos, para conseguir la identificación de áreas de cosechas y períodos más riesgosos.

La transmisión de esta información requiere el uso de distintos canales de comunicación, como por ejemplo medios tradicionales (radio, televisión), tecnologías móviles (SMS, aplicaciones), y redes sociales. También supone la formación de extensionistas y de líderes rurales para que sean capaces de interpretar y comunicar la información.

En materia de fortalecimiento de redes de seguridad social, el desarrollo de sistemas de respuesta rápida a los choques covariados (sequías, inundaciones...) exige un enfoque diferente para la construcción de sistemas mucho más flexibles y adaptativos. Los programas de transferencias monetarias condicionadas, tales como Prospera (anteriormente Oportunidades) han probado de ser eficientes para reducir la pobreza crónica mejorando a su vez los indicadores de salud y educación en las áreas rurales.

No obstante, estos programas no consideran los choques temporales, los cuales aumentan significativamente la vulnerabilidad de los hogares rurales. Desarrollar mecanismos de "escalamiento" automático, es decir, mecanismos que incrementen los montos de las transferencias o amplíen su cobertura para absorber los choques identificados, puede enriquecer la capacidad de estos programas para proteger a los hogares vulnerables.

El diseño de estos mecanismos requiere la interrelación los sistemas de alerta temprana con los sistemas de protección social. Por existencias 50%, o sea, que consista en decir que la declaración de un estado de emergencia por sequía en un municipio podría aumentar automáticamente en un 50% las transferencias de Prospera a favor de los beneficiarios del mismo municipio o podría agrandar aquellas a hogares normalmente excluidos de la elegibilidad.

La experiencia de otros países de la región, pero mayormente de Etiopía o de Kenia, muestra que puede ser muy efectiva la adopción de estos sistemas de protección social o de protección social adaptativa para que se reduzcan los choques climáticos sobre el bienestar de los hogares de los agricultores. Su implementación también requiere inversiones exigentes en la calidad de los

sistemas de información, de coordinar las acciones interinstitucionales, o la capaz administrativa.

Fortalecer la infraestructura rural también ayuda a reducir la variabilidad del PIB agrícola. No solo abarca la infraestructura productiva (sistemas de riego, almacenes, centros de acopio), sino que, además, incluye las infraestructuras de conectividad (carreteras, telecomunicaciones, internet) que posibilitan a los productores acceder posteriormente a los mercados, a la información, a los servicios financieros

La infraestructura de almacenamiento ocupa una posición muy relevante para reducir las pérdidas poscosecha y permitir suavizar las fluctuaciones estacionales de precios. El país cuenta con un importante déficit en la capacidad de almacenamiento de granos básicos. Según ASERCA, en México existen más de 20 millones de toneladas de infraestructura de almacenamiento, pero se necesitan un mínimo de 35 millones de toneladas de capacidad de almacenamiento para gestionar adecuadamente tanto la producción nacional como la importada.

El desarrollo de dicha infraestructura requiere del respaldo del sector público y privado de manera coordinada. El sector público podría contribuir con incentivos fiscales para la edificación de almacenes, garantías de financiamiento para esos proyectos e incluso con apoyo técnico para el diseño y operación de dichos almacenes. El sector privado podría aportar la inversión, la experiencia técnica y la eficiencia de operación.

La diversificación productiva y de mercados representa otra de las estrategias fundamentales para la reducción de la variabilidad del PIB agrícola. La concentración de la producción en unos pocos cultivos y la dependencia de unos pocos mercados incrementan la vulnerabilidad del sector ante choques específicos. La promoción de la diversificación puede reducir dicha vulnerabilidad dispersando los riesgos a través de múltiples actividades y mercados.

La diversificación productiva puede presentarse a distintas escalas: a nivel de la parcela (cultivos múltiples, agroforestería y/o integración agricultura-ganadería), a nivel de la región (promoción de cultivos alternativos adecuados a las condiciones locales) y a nivel nacional (desarrollo de nuevos sectores como la agricultura orgánica, acuicultura o biotecnología agrícola).

2.7.1. Programas gubernamentales de apoyo al sector agrícola

El gobierno de México ha diseñado una serie de programas públicos, en los que sí pretende apoyar las actividades productivas y con ello disminuir la vulnerabilidad de los productores. A medida que han marchado los años, también lo hicieron estos programas, dado que se consideraba respetar los cambios ocurridos en la dirección de la política económica del país. En el momento en el que existía el modelo de sustitución de importaciones, la política agrícola se encontraba fuertemente marcada por la intervención del Estado con los precios de garantía, subsidios a los insumos, subsidios al crédito, etc. (González-Estrada, 2006). Los instrumentos contaban con un objetivo claro: asegurar la rentabilidad de la producción de alimentos básicos y proteger a los productores de las volatilidades que los precios internacionales exigían.

Una vez que se abre el comercio internacional y se acepta el modelo neoliberal, la política agrícola se adhiere a la orientación de la competitividad y la eficiencia. Se eliminan los precios de garantía y los reemplaza un sistema de apoyos directos al ingreso de los productores como los programas de apoyos directos al campo (PROCAMPO). Al mismo tiempo, fueron creados programas para promover la inversión en tecnología, la reconversión productiva e integrar a los productores en las cadenas de valor (Steffen Riedemann, 2007).

Estudios recientes, como el de Cruz Herrera et al. (2021), analizan precisamente la evolución de estas políticas los precios de garantía y PROCAMPO y su impacto en la autosuficiencia alimentaria mexicana. Los resultados muestran que, aunque el esquema de precios de garantía busca favorecer a pequeños y medianos productores, el sistema de apoyos directos ha resultado más eficaz en aumentar

la productividad agrícola. Sin embargo, la dependencia de las importaciones de granos básicos como el trigo panificable y el arroz sigue siendo alta (superior al 50 % del consumo nacional), lo cual refleja que el país aún no logra alcanzar la autosuficiencia alimentaria, pese a los esfuerzos institucionales.

En la actualidad, la política agrícola del gobierno mexicano busca articular objetivos de productividad, inclusión y sostenibilidad. Se han reestablecido los precios de garantía para algunos granos básicos con el objetivo de ayudar a pequeños y medianos productores (Gobierno de México, 2025). También se han desarrollado programas para promover la producción de fertilizantes orgánicos, la agricultura de conservación y otras formas de producción sostenibles. Sin embargo, tal como señalan Cruz Herrera et al. (2021) y la OCDE (2022), el debate sobre la eficacia y la equidad de estos programas permanece abierto. Muchos analistas coinciden en que se requiere una mayor coordinación de políticas, una mejor focalización de los apoyos y un fortalecimiento de la capacidad institucional para lograr una verdadera autosuficiencia alimentaria y una reducción sostenida de la pobreza rural.

2.7.2. Estrategias de adaptación al cambio climático

El cambio climático es uno de los principales retos del sector agrícola de México. El aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos; sequías e inundaciones, puede aumentar la variabilidad de la producción y poner en riesgo la seguridad alimentaria. Por ello, es indispensable desarrollar y poner en práctica estrategias de adaptación que permitan la capacidad de respuesta del sector agrícola ante los impactos provocados por el cambio climático.

Las estrategias de adaptación pueden ser de distinta índole. A nivel de finca, los productores pueden poner en práctica prácticas de manejo del agua más eficientes, como el riego por goteo o la captación de agua de lluvia. Además, podrían diversificar sus cultivos sembrando variedades más resistentes a la sequía o al calor, o combinar la agricultura con otras actividades, como la

ganadería o el turismo rural para diversificar sus fuentes de ingresos (Turrent-Fernández et al., 2016).

A escala de paisaje, las estrategias de adaptación pueden ser la reforestación de las cuencas para mejorar la captación y retención del agua, la recuperación de los suelos degradados para aumentar su capacidad de almacenamiento de carbono y la creación de corredores biológicos que faciliten la migración de las especies ante los cambios del clima. Todas ellas, bajo el paradigma de la “Adaptación basada en ecosistemas” persiguen aprovechar los servicios que proveen ecosistemas para disminuir la vulnerabilidad de las comunidades humanas (PNUMA, 2021). En lo que respecta a lo institucional, es preciso fortalecer los sistemas de alerta temprana, de tal forma que los productores puedan adecuarse y anticiparse a los eventos climáticos extremos y adoptar nuevas medidas de prevención. Así mismo, es necesario mejorar la planificación del uso del suelo, para evitar que la agricultura se expanda a zonas de alto riesgo. La investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y de nuevas variedades de cultivos que se adapten a las nuevas condiciones climáticas representan también una de las principales prioridades (Hernández Santoyo et al., 2023).

2.7.3. Innovación tecnológica y financiera

La innovación tecnológica y financiera representa otra herramienta clave para la mitigación de la variabilidad del PIB agrícola. La adopción de tecnologías de agricultura de precisión, como los sensores remotos, los drones y los sistemas de información geográfica, permite a los productores optimizar el uso de insumos, disminuir los costos y aumentar los rendimientos. La biotecnología, para el caso de la producción agrícola, presenta la oportunidad de crear cultivos con mayor resistencia a las plagas y enfermedades o a la falta de agua (Gollin, 2010).

Sin embargo, el acceso a este tipo de tecnologías continúa siendo restringido para muchos pequeños y medianos productores en México, ya que requieren grandes inversiones y capacitación. Por lo tanto, es importante crear políticas que logren poner en circulación estas tecnologías mediante políticas que convoquen

varias estrategias de acceso y adopción, como por ejemplo créditos, asistencia técnica o capacitación.

Así mismo, la innovación financiera es importante para el manejo del riesgo agrícola. El desarrollo de nuevos instrumentos de seguro, como el seguro paramétrico o el seguro basado en índices, puede ser una solución para ayudar a los productores a protegerse contra eventos climáticos extremos. Dichos seguros, a diferencia de los seguros tradicionales, no se centran en cuantificar los daños producidos en la finca asegurada, sino se fundamentan en la medición de un parámetro objetivo, como puede ser el número de milímetros de precipitación o la temperatura, lo que permite reducir los costes de transacción y dar cumplimiento al pago de las indemnizaciones (Mahul y Stutley, 2010).

El acceso al crédito también es clave para que los agricultores puedan realizar las inversiones necesarias en las medidas de adaptación y mitigación de riesgos. Es fundamental un reforzamiento de las instituciones financieras rurales, como las cajas de ahorro y crédito popular y las uniones de ahorro y crédito, de manera que estas puedan ofrecer productos financieros adaptados a las necesidades del sector agrícola. Promover el uso de tecnologías financieras (FinTech) también es importante para reducir los costes de intermediación y ampliar la cobertura de los servicios financieros en el medio rural (FIRA, 2022).

Finalmente, la reducción de la variabilidad del PIB agrícola en México requiere una combinación de medidas públicas y estrategias de adaptación al cambio climático e innovación tecnológica y financiera. No hay una única solución a garantizar para un problema que, por su parte, es complejo; son necesarias soluciones múltiples y alternativas que se adapten a las diversas condiciones de cada región y de cada tipo de productor. La colaboración entre gobiernos, iniciativas privadas, la academia y la sociedad civil permite construir un sector agrícola más resiliente, productivo y sostenible.

2.8. Literatura citada

Anselin, L. (2010). Spatial econometrics. En The New Palgrave Dictionary of Economics (pp. 1-8). Palgrave Macmillan.

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global Environmental Change, 16(3), 268-281.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378006000422>

Banco de México. (2021). Informe trimestral enero-marzo 2021. Banco de México.
<https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/%7B49D9C039-CE93-FC5A-59A6-DF7579FDB26%7D.pdf>

Banco de México. (2022). Reporte sobre las economías regionales, enero-marzo 2022.
<https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/reportes-sobre-las-economias-regionales/%7B2A6B5F3A-3F3E-4E6F-8B7A-0B6C0D7E2B5A%7D.pdf>

Basurto Hernández, S., & Escalante Semerena, R. (2012). Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. Economía UNAM, 9(25), 51-73.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1665-952x2012000100004&script=sci_arttext

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31(3), 307-327.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304407686900631>

Box, G. E. P., y Jenkins, G. M. (1970). Time series analysis: Forecasting and control. Holden-Day.

CEPAL. (s.f.). Análisis de series de tiempo de variables agropecuarias.
https://www.cepal.org/sites/default/files/project/files/archivoanexo_xiii_documento_completoseriestiempo.pdf

Conoce Hidroponía. (2015, 26 de septiembre). Importancia de la agricultura en México. Hydroenvironment. <https://hidroponia.mx/importancia-de-la-agricultura-en-mexico/>

Conde, C., Ferrer, R. M., y Gay, C. (2006). Impactos del cambio climático en la agricultura en México. En México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México (pp. 205-226). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Clapp, J. (2009). Food price volatility and vulnerability: Reflections on the global food crisis, 5(4), 334-349. <https://ideas.repec.org/a/taf/ctwqxx/v30y2009i6p1183-1196.html>

CONEVAL. (2020). La pobreza en la población indígena de México, 2008-2018. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/Pobreza_Poblacion_indigena_2008-2018.pdf

Cruz Herrera, Karen Lucero, Valdivia Alcalá, Ramón, Martínez Damián, Miguel Ángel, & Contreras Castillo, José María. (2021). Autosuficiencia alimentaria en México: precios de garantía versus pagos directos al productor. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 981-990. Epub 21 de marzo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2533>

Dagnino S., J. (2014). Tipos de datos y su tabulación. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 164-167.

De Janvry, A., y Sadoulet, E. (2011). Agriculture for development in Africa: A research agenda. World Bank.

Dervis, K., De Melo, J., & Robinson, S. (1982). General equilibrium models for development policy. Cambridge University Press.

Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & Stern, A. (2004). Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 665-674.

https://www.researchgate.net/publication/275579214_Crop_Yield_Assessment_from_Remote_Sensing

Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), 987-1007.

Espinosa Zamorano, E. G. (2016). El crédito y su impacto en el Producto Interno Bruto agropecuario mexicano [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional]. <http://193.122.196.39:8080/xmlui/handle/10521/3379>

Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234-245. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378007000659>

FAO. (2013). Climate-smart agriculture sourcebook. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/en/>

FIRA. (2022). Panorama Agroalimentario 2022. https://www.fira.gob.mx/nd/Panorama_Agroalimentario_2022.pdf

Florescano, E. (1980). La crisis agrícola de 1785-1786. Ediciones Era.

Fuentes, E. (2021). Agricultura familiar y seguridad alimentaria en el México rural. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 31(58), 1-24. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-91692021000200121&script=sci_arttext

Froyen, R. T. (1997) *Macroeconomía teoría y políticas* (5.^a ed.) Prentice Hall

García Mata, R., del Villar Villalón, M. F., y García Salazar, J. A. (2004). Modelo econométrico para determinar los factores que afectan el mercado de la carne de porcino en México. *Interciencia*, 29(8), 414-420.

Gobierno de México. (2025). Política Agroalimentaria, productiva, inclusiva y sustentable. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/politica-agroalimentaria-productiva-inclusiva-y-sustentable>

Gollin, D. (2010). The Green Revolution: An historical perspective. En *The Oxford Handbook of Agricultural Economics* (pp. 1-25). Oxford University Press.

González-Estrada, A. (2006). Los subsidios agrícolas de México. *Agrociencia*, 40(3), 365-376. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000300008&script=sci_arttext

González-Estrada, A. (2013). Regularidades de las fluctuaciones cíclicas de la producción agropecuaria de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-449. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000300003&script=sci_arttext

Gujarati, D. N., y Porter, D. C. (2009). *Econometría*. McGraw-Hill.

Granados Sánchez, M. D. R., Galán Figueroa, J., & Aguirre Gómez, 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*, 29(58), 79-96. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-86692020000200079&script=sci_arttext

Granados Sánchez, M. R., Aguirre Gómez, A., & Galán Figueroa, J. (2022). La volatilidad del precio de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México: 2000-2020. *Agricultural and Resource Economics*, 35(2), 145-162.

Hernández Santoyo, A., Ortiz-Paniagua, C. F., y Alcaraz Vera, J. V. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta universitaria*, 33, 1-19. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662023000100125&script=sci_arttext

Hewitt de Alcántara, C. (1978). La modernización de la agricultura mexicana, 1940-1970. Siglo XXI Editores.

ILCE. (2023). La agricultura en México. http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/161/html/sec_16.html

INEGI. (2023). Banco de Información Económica. <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

Información general sobre México. (s/f). Recuperado el 25 de febrero de 2025, de <https://embamex.sre.gob.mx/republicadominicana/index.php/avisos/2-uncategorised/127-informacion-general-sobre-mexico>

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Johnston, B. F., y Mellor, J. W. (1961). The role of agriculture in economic development. *The American Economic Review*, 51(4), 566-593.

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.

Kydland, F. E., y Prescott, E. C. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica*, 50(6), 1345-1370.

Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.

Málaga, J. E., y Williams, G. W. (2010). La competitividad de México en la exportación de productos agrícolas. *Revista mexicana de agronegocios*, 27, 295-309. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14114743002.pdf>

Mahul, O., y Stutley, C. J. (2010). Government support to agricultural insurance: Challenges and options for developing countries. World Bank.

Marwick, B., y Krishnamoorthy, K. (2019). cvequality: Tests for the Equality of Coefficients of Variation from Multiple Groups. Paquete de software R versión 0.1.3. <https://github.com/benmarwick/cvequality>

México: panorama general. (s/f). Recuperado el 25 de febrero de 2025, de <https://www.bancomundial.org/es/country/mexico/overview>

Moctezuma-López, G. (2023). Contribución de la agroindustria alimentaria mexicana al producto interno bruto durante 1993-2019. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(7), 1-13. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342023000700002&script=sci_arttext

Mora Torres, J. Z., y Chitiva Linares, N. J. (2024). Dinámica del PIB agrícola en Colombia: análisis de políticas gubernamentales y proyecciones ARIMA para 2024 [Trabajo de grado, Fundación Universitaria Los Libertadores]. <https://repository.libertadores.edu.co/items/0a930cec-7a11-4f07-abdd-5f0cbdaace5f>

North, D. C. (1990). Institutions, institutional change and economic performance. Cambridge University Press.

OCDE. (2022). Estudios económicos de la OCDE: México 2022. <https://www.oecd.org/economy/mexico-economic-snapshot/>

Pardey, P. G., y Beintema, N. M. (2001). Slow magic: Agricultural R&D a century after Mendel. International Food Policy Research Institute.

PNUMA. (2021). Adaptación basada en Ecosistemas: Guía para la planificación e implementación. <https://www.unep.org/es/resources/publication/adaptacion-basada-en-ecosistemas-guia-para-la-planificacion-e-implementacion>

Producto Interno Bruto. Cuéntame de México. (s/f). INEGI. <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/pib.aspx?tema=E>

Ramírez-Juárez, J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 553-566. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>

Rello, F. (s.f.). Eslabonamientos productivos agricultura-agroindustria y su capacidad de generar empleo en México. CEPAL. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/3709/S2005001_es.pdf

Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.

Sánchez Cohen, I., Díaz Padilla, G., y Ojeda Bustamante, W. (2008). Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1279>

Scott, J. (2008). Agricultural policy and pro-poor growth in Mexico. World Bank.

Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.

Steffen Riedemann, C. (2007). La focalización de los subsidios a los granos en México. *Polis*, (035). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-23332007000200003&script=sci_arttext

Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., y Espinosa-Calderón, A. (2016). Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1727-1737. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000701727&script=sci_arttext

Yúnez-Naude, A., y Taylor, J. E. (2001). The determinants of nonfarm employment and incomes in rural Mexico. En *World Development Report 2000/2001: Attacking Poverty* (pp. 1-26).

World Bank. (2005). Managing agricultural production risk: Innovations in developing countries. World Bank.
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/384781468139506455/managing-agricultural-production-risk>

3. DIMENSIONAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DEL PIB AGRÍCOLA EN MÉXICO DE 1993 A 2023¹

Alejandro Romano-Flores¹, Miguel Ángel Martínez-Damián^{2*}, Juan Hernández-Ortiz¹, Ramón Valdivia-Alcalá¹

¹ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Económico-Administrativas. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230

² Colegio de Postgraduados, División de Economía, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Autor para correspondencia: angel01@colpos.mx

RESUMEN

El sector agrícola mexicano presenta una elevada vulnerabilidad debido a su exposición a múltiples factores de riesgo que afectan directamente su estabilidad económica y productiva. En este estudio se busca cuantificar la variabilidad del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA) en México durante el periodo 1993–2023, empleando el coeficiente de variación (CV) como medida de dispersión relativa, y contrastando su comportamiento con el del PIB total nacional. La hipótesis nula establece que ambos sectores presentan el mismo coeficiente de variación, mientras que la hipótesis alternativa plantea diferencias significativas entre ellos.

Para el análisis se utilizaron datos trimestrales del PIB total y del PIB agrícola, con base 2018. La metodología se fundamenta en el procedimiento propuesto por Marwick y Krishnamoorthy, el cual integra dos pruebas estadísticas robustas: la prueba asintótica y la M-SLRT (Modified Signed-Likelihood Ratio Test). Los resultados muestran una media del PIB agrícola de 483,558.05 millones de pesos y una desviación estándar de 495,991.72, obtenidas a partir de 124

¹ Artículo enviado a revista Agrociencia, estatus: en revisión.

observaciones. En ambas pruebas se alcanzó un alto nivel de significancia ($p < 0.01$), con valores de 155.948 para la prueba asintótica ($p = 8.68 \times 10^{-36}$) y 161.511 para la M-SLRT ($p = 0$).

Estos resultados permiten rechazar la hipótesis nula, indicando que el PIB agrícola presenta una variabilidad significativamente mayor que el PIB total. Este enfoque permite evaluar con rigor la homogeneidad o heterogeneidad en la variabilidad relativa de ambos sectores, aportando evidencia empírica para el diseño de políticas agrícolas más efectivas.

Palabras clave: Coeficiente de variación, riesgo agrícola, asintótica, M-SLRT.

3.1. ABSTRACT

The Mexican agricultural sector exhibits high vulnerability due to its exposure to multiple risk factors that directly affect its economic and productive stability. This study aims to quantify the variability of the Agricultural Gross Domestic Product (AGDP) in Mexico during the period 1993–2023, using the coefficient of variation (CV) as a measure of relative dispersion and comparing its behavior with that of the national total GDP. The null hypothesis states that both sectors have the same coefficient of variation, while the alternative hypothesis proposes significant differences between them.

Quarterly data of total GDP and agricultural GDP, with 2018 as the base year, were used for the analysis. The methodology is based on the procedure proposed by Marwick and Krishnamoorthy, which integrates two robust statistical tests: the Asymptotic Test and the Modified Signed-Likelihood Ratio Test (M-SLRT). The results show an average agricultural GDP of 483,558.05 million pesos and a standard deviation of 495,991.72, obtained from 124 observations. In both tests, a high level of significance was achieved ($p < 0.01$), with values of 155.948 for the Asymptotic Test ($p = 8.68 \times 10^{-36}$) and 161.511 for the M-SLRT ($p = 0$).

These results allow the rejection of the null hypothesis, indicating that the agricultural GDP shows significantly higher variability than the total GDP. This

approach provides a rigorous framework for evaluating the homogeneity or heterogeneity in the relative variability of both sectors, offering empirical evidence to support the design of more effective agricultural policies.

Keywords: Coefficient of variation, agricultural risk, asymptotic test, M-SLRT.

3.2. INTRODUCCIÓN

La agricultura, aunque representa solo el 2.2% del Producto Interno Bruto (PIB) total de México, es un sector fundamental por su contribución a la seguridad alimentaria, el empleo rural y la estabilidad socioeconómica. Sin embargo, es una actividad altamente vulnerable debido a su exposición a diversos riesgos que pueden afectar significativamente su desempeño. Komarek et al. (2020) identifican cinco categorías principales de riesgos en la agricultura: riesgos de producción, riesgos de mercado, riesgos institucionales, riesgos personales y riesgos financieros, los cuales pueden generar resultados adversos para los productores. Esta vulnerabilidad se ve agravada por las transformaciones significativas que ha experimentado el sector en los últimos años. Chamú y García (2023) destacan cambios estructurales como la ganaderización de la agricultura, la reconversión productiva y la expansión de la frontera agrícola, los cuales han alterado la dinámica del sector. Además, Basurto Hernández y Escalante Semerena (2012) señalan que el crecimiento del sector agrícola presenta fluctuaciones anuales, lo que se traduce en una alta incertidumbre en los ingresos y un mayor riesgo para los actores involucrados. Estas características hacen que la agricultura sea un sector particularmente inestable en comparación con otros sectores económicos.

La literatura reciente ha abordado ampliamente los riesgos asociados a la agricultura, con un enfoque particular en los riesgos de producción. Estudios como los de Ortiz-Paniagua et al. (2023), Espín Sánchez (2022), Quirós Badilla (2019), Ortiz Paniagua y Ortega Gómez (2018), y Guerrero-Baena et al. (2021) han contribuido a cuantificar estos riesgos mediante el uso de índices, evaluar la vulnerabilidad a través de variables climatológicas, matrices de calor y modelos

de regresión logística. Estos trabajos han proporcionado herramientas valiosas para entender cómo los factores ambientales y climáticos impactan en la producción agrícola. Por otro lado, los riesgos financieros en el sector agrícola también han sido objeto de estudio. Investigaciones como las de Timbila et al. (2020), Ríos Urzúa (2019) y Parra Trávez et al. (2024) han analizado la liquidez y otros indicadores financieros en empresas agrícolas, evidenciando la fragilidad financiera del sector. Estos estudios subrayan la importancia de monitorear y gestionar los riesgos financieros para garantizar la sostenibilidad de las empresas agrícolas.

En este contexto, el objetivo de este estudio es dimensionar la variabilidad del PIB agrícola en México en el periodo de 1993 a 2023; esto se hace con relación a la variabilidad de la economía en su conjunto; esto es la variabilidad del PIB. La hipótesis nula plantea que el PIB agrícola y el PIB total presentan la misma variabilidad.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio, se utilizaron datos trimestrales del Producto Interno Bruto (PIB) total nacional y del PIB de la actividad agrícola, correspondientes al período 1993-2023, con el año 2018 como base. Los datos fueron obtenidos del Banco de Información Económica (BIE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024).

En cuanto a la medición de la variabilidad o incertidumbre, es común utilizar la varianza. Sin embargo, esta presenta un inconveniente, ya que es sensible a las unidades de medida. Dada la evidente diferencia de escalas entre el PIB agrícola (PIBA) y el PIB total, su uso resulta poco adecuado. Como alternativa, se recurrió al coeficiente de variación; no obstante, fue necesario sustraer la tendencia de cada variable y posteriormente normalizarlas. El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

Se ajustó una tendencia con un modelo econométrico:

$$y = 263300 + 2226.962x \quad (1)$$

Donde

y = PIBA (miles de pesos)

x = trimestre (1 a 124)

Misma que se sustrajo de la serie original. Esto deja entonces los residuales, que por definición tienen media cero y por tanto un CV indeterminado; para resolver esto se sumó una constante; en cada caso el PIBA y el PIB del 1er trimestre 2018. Cuando se compara variabilidad o riesgo es común emplear una prueba de homogeneidad de varianzas. En este caso esto no es posible debido a que esto es impropio, una solución es una prueba de homogeneidad de CV Sin embargo, el CV es el cociente de 2 estadísticas la desviación estándar y la media. Con la posibilidad de que su distribución analítica no exista, para tal propósito Feltz and Miller 1996 obtienen la distribución asintótica de la estadística D'AD, el cual es una representación matricial (D el vector que representa los CV muestrales, A representa una matriz de varianzas y covarianzas, por lo que D'AD es la forma cuadrática) por lo que, es el estadístico que compara las razones, los CV de cada grupo con el CV combinado, ponderando por el tamaño de cada muestra. La D'AD sigue aproximadamente una distribución chi-cuadrado con $k-1$ grados de libertad.

La metodología empleada para comparar los coeficientes de variación (CV) del PIBA y el PIB total se basó en el enfoque propuesto por Marwick y Krishnamoorthy (2019). Este método utiliza el software R, específicamente la librería cvequality, que implementa dos pruebas estadísticas para comparar los coeficientes de variación de dos o más grupos:

Prueba asintótica (Feltz y Miller, 1996): Esta prueba se basa en el estadístico DA'D, que sigue una distribución ji-cuadrada con $k-1$ grados de libertad, donde k es el número de grupos a comparar. la estadística se calcula mediante la ecuación (1)

$$D'AD = \hat{t}_c^{-2}(0.5 + \hat{t}_c^2)^{-1} \left[\sum_{i=1}^k m_i \left(\frac{s_i}{x_i} \right)^2 - \frac{\hat{t}_c^2}{M} \right] \quad (2)$$

Donde:

$\hat{t}_c$: es una estimación del coeficiente de variación (cv) poblacional, calculado como:

$$\hat{t}_c = \frac{\sum_{j=1}^k m_j \frac{s_j}{x_j}}{M} \quad (3)$$

s_j = desviación estándar de la muestra j

x_j = media de la muestra j

$m_j = n_j - 1$: grados de libertad de la muestra j, donde n_j es el tamaño de la muestra j

$M = \sum_{j=1}^k m_j$: es la suma de los grados de libertad de todas las muestras

m_i : grados de libertad de la muestra i ($m_j = n_j - 1$)

s_i : desviación estándar de la muestra i

x_i : media de la muestra i

k: número de muestra o grupos que se están comparando

para esta investigación solo se comparan 2 muestras y los datos están balanceados.

Un segundo enfoque lo ofrecen Krishnamoorthy y Lee 2014. Esta prueba se basa en la razón de verosimilitud modificada. La razón de verosimilitud es una medida que compara la verosimilitud de los datos bajo la hipótesis nula con la verosimilitud bajo la hipótesis alternativa. El estadístico se define como:

$$M - SLRT = -2 \log (\Lambda) + \text{corrección}$$

Donde: Λ es la razón de verosimilitud, que se calcula como:

$$= \frac{L(\theta_0|\text{datos})}{L(\theta_1|\text{datos})}$$

$L(\theta_0|\text{datos})$ es la verosimilitud bajo la hipótesis nula, igualdad de CV

$L(\theta_1|\text{datos})$ es la verosimilitud bajo la hipótesis alternativa, diferentes CV

Corrección: es un término adicional que se añade para mejorar la precisión de la prueba, la cual depende de factores como el tamaño de la muestra o la distribución de los datos (Prueba de razón de verosimilitud modificada MSLRT), Krishnamoorthy y Lee 2014). La razón de verosimilitud se distribuye asintóticamente como una ji-cuadrada con grados de libertad igual a la diferencia de restricciones en este caso 1 la igualdad de los CV.

Para quitar la tendencia de los datos del PIB de ambos grupos, se trabajó con los residuales obtenidos de un modelo econométrico simple. A estos residuales se le sumo una constante para evitar valores negativos, ya que la metodología empleada no admite este tipo de valores.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una media del PIB agrícola de 483,558.05 millones de pesos y una desviación estándar de 495,991.72, calculadas a partir de 124 observaciones para el periodo 1993–2023. El valor elevado de la desviación estándar en relación con la media refleja una alta dispersión y, por tanto, una considerable variabilidad en el desempeño del sector agrícola mexicano a lo largo del tiempo. En términos generales, esta magnitud sugiere que el PIB agrícola ha estado sujeto a fluctuaciones recurrentes, asociadas tanto

a factores estructurales de la economía como a choques externos de carácter climático o financiero.

Con el propósito de contrastar la hipótesis de igualdad de los coeficientes de variación (CV) entre el PIB agrícola (PIBA) y el PIB total, se procedió a eliminar la tendencia de ambas series y a incorporar el dato correspondiente al primer trimestre de 2018, para posteriormente aplicar las pruebas asintótica y M-SLRT. Estas pruebas permiten evaluar si la variabilidad relativa entre ambas series presenta diferencias estadísticamente significativas.

De acuerdo con los resultados obtenidos y las figuras 1 y 2, se observa que el PIB agrícola presenta una mayor variabilidad en comparación con el PIB total. Este comportamiento confirma que el agrícola mexicano es más inestable y susceptible a perturbaciones de diversa índole, lo cual coincide con la evidencia empírica encontrada en estudios previos sobre la dinámica del sector.

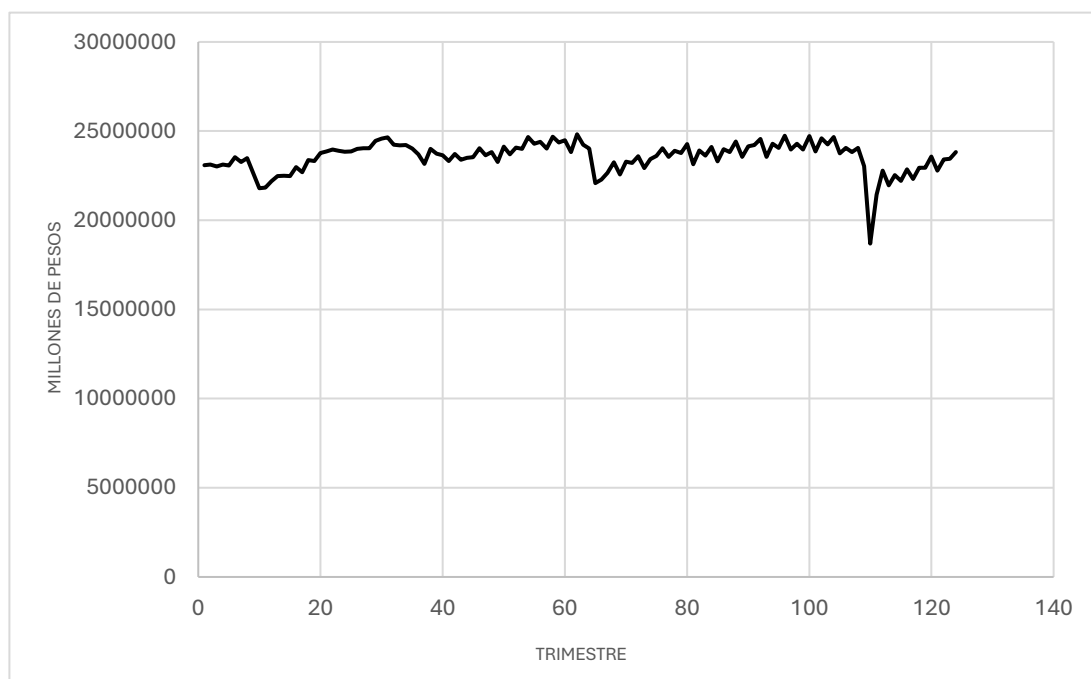


Figura 1. Variabilidad del PIB total nacional en México de 1993 a 2023

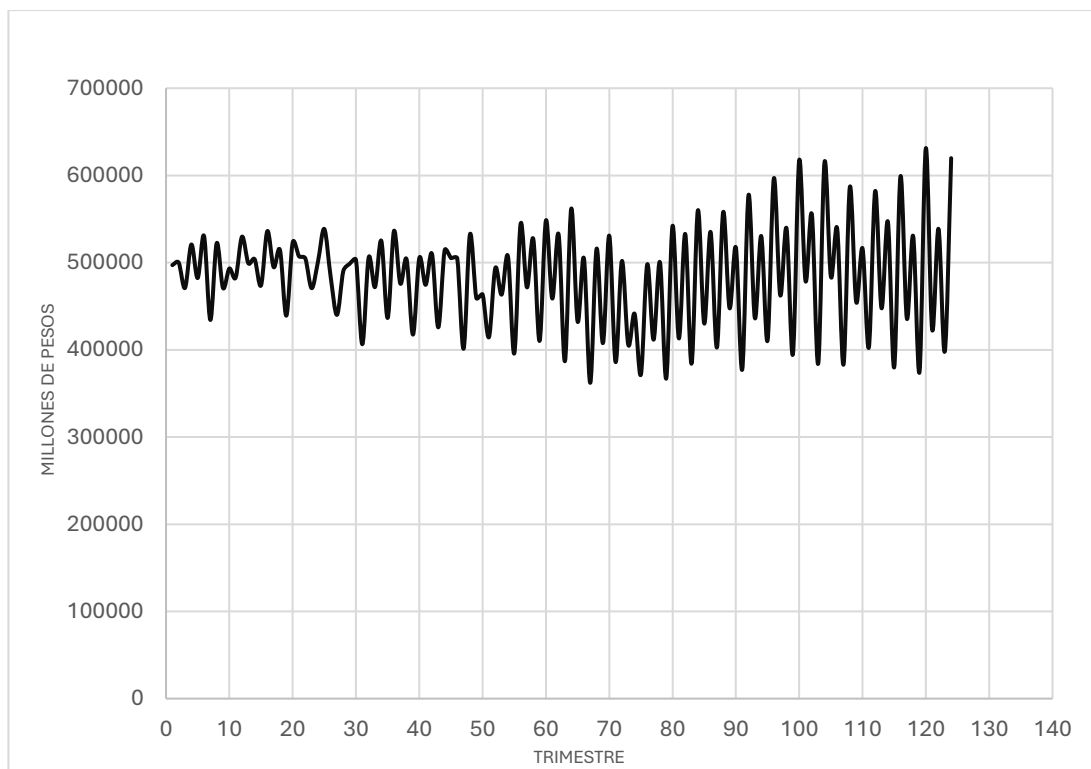


Figura 2 Variabilidad del PIB agrícola en México de 1993 a 2023

Cuadro 7. Resultados estadísticos de la comparación de los coeficientes de variación entre ambos grupos.

Numero de muestras	Media	Desviación estándar
124	483558.0455	495991.716
Prueba	Estadístico	P-valor
Asintótica	155.948	8.68^{-36}
M-SLRT	161.511	0

En cuanto a las pruebas estadísticas, los resultados de la prueba asintótica (estadístico = 155.948; $p = 8.68 \times 10^{-36}$) y de la M-SLRT (estadístico = 161.511; p

= 0) evidencian un alto nivel de significancia estadística ($p < 0.01$), por lo que se rechaza la hipótesis nula de estabilidad en la serie. Esto confirma que las variaciones del PIB agrícola no son producto del azar, sino que responden a causas estructurales y persistentes en el tiempo, lo que respalda la presencia de una volatilidad estadísticamente significativa en el crecimiento del sector.

Estos resultados concuerdan con los hallazgos de González-Estrada (2013), quien identificó una alta volatilidad en el componente cíclico del PIB agropecuario y una correlación positiva con el ciclo económico general. El autor atribuye parte de esta variabilidad a choques de oferta derivados de condiciones climáticas y plagas, factores que también pueden explicar las amplias fluctuaciones detectadas en este estudio.

De manera complementaria, Sánchez Cohen et al. (2008) demostraron que la variabilidad climática, especialmente en términos de sequías y disponibilidad hídrica, tiene efectos directos sobre la producción agrícola, incrementando la vulnerabilidad del sector de temporal. La magnitud de la desviación estándar observada en el presente análisis es coherente con ese tipo de impactos, ya que los eventos climáticos extremos se traducen en variaciones anuales significativas del producto agrícola.

Por otro lado, la evidencia aportada por Basurto Hernández y Escalante Semerena (2012) sugiere que las crisis macroeconómicas de 1995 y 2009 afectaron de forma diferenciada al PIB agropecuario, mostrando una mayor caída durante la primera crisis (-2.8%) y un impacto moderado en la segunda (-0.5%). Estas diferencias confirman que el sector agrícola mantiene una vulnerabilidad dinámica frente a los choques económicos, que se refleja en los resultados obtenidos en este trabajo mediante la significancia de las pruebas de variabilidad. En conjunto, ambos enfoques (económico y climático) apuntan a que la volatilidad del PIB agrícola tiene un origen multicausal.

Además, los hallazgos de González-Estrada (2016) muestran que la adopción de tecnología agrícola desarrollada por el INIFAP puede reducir la variabilidad de los

rendimientos de cultivos básicos hasta en un 30% respecto a variedades tradicionales. Este resultado ofrece una posible explicación de los periodos de menor variabilidad que se observan en la serie analizada, evidenciando el papel positivo que la innovación tecnológica puede tener para amortiguar los efectos de la volatilidad. Sin embargo, el propio autor señala que la adopción desigual de tecnologías entre productores grandes y pequeños mantiene la heterogeneidad en la exposición al riesgo, lo cual coincide con la alta dispersión estadística observada.

Asimismo, los estudios de Sánchez-Cohen et al. (2008) proyectan que la disponibilidad de agua para riego podría disminuir entre un 15% y 25% en regiones clave del país, como el noroeste y el Bajío, aumentando la variabilidad interanual de la producción. Estos resultados refuerzan la idea de que, de no aplicarse medidas de adaptación, la volatilidad del PIB agrícola tenderá a intensificarse en el futuro, lo cual está en consonancia con la magnitud de la variabilidad detectada en este estudio para el periodo histórico reciente.

En conjunto, los resultados de esta investigación coinciden con la literatura revisada en que la variabilidad del PIB agrícola mexicano es significativa y estructural, derivada de una combinación de factores climáticos, económicos, tecnológicos e institucionales. La coincidencia entre la magnitud de la desviación estándar y los hallazgos previos sugiere que el sector agrícola continúa siendo altamente sensible a perturbaciones externas y que las políticas públicas de estabilización deben fortalecerse mediante estrategias integrales de gestión de riesgo climático y financiero, inversión en innovación tecnológica y apoyo diferenciado por tipo de productor.

3.5. CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas, tanto la prueba asintótica como la M-SLRT, demuestran de manera contundente que existe una diferencia significativa entre los coeficientes de variación del Producto interno bruto agrícola y el Producto Interno Bruto en México durante el periodo 1993-2023. Los valores

prácticamente nulos obtenidos en los p-valores nos llevan a rechazar firmemente la hipótesis nula de igualdad entre ambos coeficientes y, en consecuencia, a aceptar la hipótesis alternativa que señala diferencias sustanciales en su variabilidad relativa y se evidencia la volatilidad del sector agrícola.

3.6. REFERENCIAS

Artículo científico con paginación y doi

Chamú, F. & García, J.O. (2023). La evolución del patrón pro-ductivo del sector agrícola en México. ITSÍ ECHERI Revista de Divulgación en Ciencias Agroalimentarias y del De-sarrollo Económico Rural, 1(3), 35-40. <https://doi.org/10.33110/itsiecheri14>

Basurto Hernández, Saúl, & Escalante Semerena, Roberto. (2012). Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. Economía UNAM, 9(25), 51-73. Recuperado en 31 de enero de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2012000100004&lng=es&tlng=es.

González-Estrada, A. (2006). Los subsidios agrícolas de México. Agrociencia, 40(3), 365-376. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000300008&script=sci_arttext

González-Estrada, A. (2013). Regularidades de las fluctuaciones cíclicas de la producción agropecuaria de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(3), 435-449. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000300003&script=sci_arttext

Artículo científico sin paginación y con doi

Espín Sánchez, D. (2022). Cartografía de alta resolución del riesgo de heladas: peligro, vulnerabilidad y exposición agrícola (SE de España). *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 68(2). <https://doi.org/10.5565/rev/dag.710>

Guerrero-Baena, M. D., Gómez-Limón, J. A., & Sánchez-Cañizares, S. M. (2021). Determinantes de la adopción de instrumentos de gestión del riesgo en la agricultura de regadío. *Informacion Tecnica Economica Agraria*. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.001>

Komarek, A. M., De Pinto, A., & Smith, V. H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. En *Agricultural Systems* (Vol. 178). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>

Marwick, B., y Krishnamoorthy, K. (2019). cvequality: Tests for the Equality of Coefficients of Variation from Multiple Groups. Paquete de software R versión 0.1.3. <https://github.com/benmarwick/cvequality>

Ortiz Paniagua, C. F., & Ortega Gómez, A. M. (2018). Riesgo económico-agrícola y escenarios de cambio climático (2025-2075) en una región del trópico seco mexicano. *Sociedad y Ambiente*, 17. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i17.1843>

Ortiz-Paniagua, C. F., Alcaraz Vera, J. V., & Hernández Santoyo, A. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta Universitaria*, 33. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3763>

Parra Trávez, E. D., Faz Cevallos, E., Razo Ascazubi, C. de las M., & Arias Bautista, D. S. (2024). El Riesgo Financiero y su incidencia en la eficiencia de las empresas del sector agrícola del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi 2022. *Revista Social Fronteriza*, 4(1). [https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(1\)147](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(1)147)

Quirós Badilla, D. F. (2019). Riesgo operativo en sistemas de producción agrícola. Propuesta base para su evaluación. *Revista e-Agronegocios*, 5(2). <https://doi.org/10.18845/rea.v5i2.4455>

Ríos Urzúa, V. (2019). Seguros y agroindustria: Riesgos en la agricultura y mecanismos de transferencia disponibles en el mercado. *Revista Ibero-Latinoamericana de seguros*, 28(50).
<https://doi.org/10.11144/javeriana.ris50.sara>

Sánchez Cohen, I., Díaz Padilla, G., y Ojeda Bustamante, W. (2008). Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
<http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1279>

Timbila, M., Rios, M., & Caicedo, F. (2020). EFICIENCIA Y RIESGOS FINANCIEROS EN LAS EMPRESAS AGRÍCOLAS DEL CANTÓN LATACUNGA. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(106).
<https://doi.org/10.47460/uct.v24i106.396>

Bases de datos confiables sustentados por instituciones con reconocimiento mundial

Banco de Información Económica (BIE). (s/f). Recuperado el 02 de febrero de 2024, de <https://inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000215#D10000215>

4. CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de la variabilidad del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA) en México durante el periodo 1993–2023 permitió evidenciar la elevada exposición del sector agrícola a factores de riesgo tanto internos como externos. Los resultados obtenidos a través del coeficiente de variación (CV) confirmaron que la volatilidad del PIB agrícola es significativamente mayor en comparación con la del PIB total, lo que demuestra que el sector presenta un comportamiento económico más inestable y vulnerable ante los cambios en el entorno nacional e internacional.

La aplicación de las pruebas estadísticas asintótica y M-SLRT, bajo la metodología de Marwick y Krishnamoorthy (2019), permitió rechazar la hipótesis nula de igualdad en la variabilidad relativa de ambos sectores, validando empíricamente la existencia de diferencias estructurales en su comportamiento. Esto sugiere que la agricultura mexicana continúa siendo un sector sensible a los

choques climáticos, las fluctuaciones de precios, las políticas públicas y los factores de mercado, los cuales repercuten directamente en la estabilidad de la producción y los ingresos rurales.

En términos de política económica, los hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer los mecanismos de gestión del riesgo y de diseñar estrategias de estabilización que fomenten la resiliencia productiva del campo mexicano. Es fundamental impulsar instrumentos financieros, seguros agropecuarios, infraestructura de riego y programas de diversificación productiva que reduzcan la exposición del sector a la incertidumbre. Finalmente, el estudio contribuye a la comprensión de la dinámica económica del sector agrícola, ofreciendo una base empírica para futuras investigaciones orientadas a promover un crecimiento más estable, sostenible e inclusivo en la agricultura mexicana.

5. LITERATURA GENERAL

Anselin, L. (2010). Spatial econometrics. En The New Palgrave Dictionary of Economics (pp. 1-8). Palgrave Macmillan.

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global Environmental Change, 16(3), 268-281.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378006000422>

Banco de Información Económica (BIE). (s/f). Recuperado el 02 de febrero de 2024, de <https://inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000215#D10000215>

Banco de México. (2021). Informe trimestral enero-marzo 2021. Banco de México. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/%7B49D9C039-CE93-FC5A-59A6-DFF7579FDB26%7D.pdf>

Banco de México. (2022). Reporte sobre las economías regionales, enero-marzo 2022. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/reportes-sobre-las-economias-regionales/%7B2A6B5F3A-3F3E-4E6F-8B7A-0B6C0D7E2B5A%7D.pdf>

Basurto Hernández, S., & Escalante Semerena, R. (2012). Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. Economía UNAM, 9(25), 51-73.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1665-952x2012000100004&script=sci_arttext

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31(3), 307-327.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304407686900631>

Box, G. E. P., y Jenkins, G. M. (1970). Time series analysis: Forecasting and control. Holden-Day.

CEPAL. (s.f.). Análisis de series de tiempo de variables agropecuarias. https://www.cepal.org/sites/default/files/project/files/archivoanexo_xiii_documento_completoseriestiempo.pdf

Conde, C., Ferrer, R. M., y Gay, C. (2006). Impactos del cambio climático en la agricultura en México. En México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México (pp. 205-226). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Clapp, J. (2009). Food price volatility and vulnerability: Reflections on the global food crisis, 5(4), 334-349. <https://ideas.repec.org/a/taf/ctwqxx/v30y2009i6p1183-1196.html>

CONEVAL. (2020). La pobreza en la población indígena de México, 2008-2018. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/Pobreza_Poblacion_indigena_2008-2018.pdf

Chamú, F. & García, J.O. (2023). La evolución del patrón productivo del sector agrícola en México. ITSÍ ECHERI Revista de Divulgación en Ciencias Agroalimentarias y del Desarrollo Económico Rural, 1(3), 35-40. <https://doi.org/10.33110/itsiecheri14>

Dagnino S., J. (2014). Tipos de datos y su tabulación. Revista Chilena de Anestesia, 43(2), 164-167.

De Janvry, A., y Sadoulet, E. (2011). Agriculture for development in Africa: A research agenda. World Bank.

Dervis, K., De Melo, J., & Robinson, S. (1982). General equilibrium models for development policy. Cambridge University Press.

Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & Stern, A. (2004). Crop yield assessment from remote sensing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69(6), 665-674. https://www.researchgate.net/publication/275579214_Crop_Yield_Assessment_from_Remote_Sensing

Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. Econometrica, 50(4), 987-1007.

Espinosa Zamorano, E. G. (2016). El crédito y su impacto en el Producto Interno Bruto agropecuario mexicano [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional]. <http://193.122.196.39:8080/xmlui/handle/10521/3379>

El sector agrícola en México – Datos estadísticos | Statista. (s/f). Recuperado el 9 de febrero de 2025, de <https://es.statista.com/temas/7029/el-sector-agricola-en-mexico/>

Espín Sánchez, D. (2022). Cartografía de alta resolución del riesgo de heladas: peligro, vulnerabilidad y exposición agrícola (SE de España). *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 68(2). <https://doi.org/10.5565/rev/dag.710>

Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234-245. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378007000659>

FAO. (2013). Climate-smart agriculture sourcebook. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/en/>

FIRA. (2022). Panorama Agroalimentario 2022. https://www.fira.gob.mx/nd/Panorama_Agroalimentario_2022.pdf

Florescano, E. (1980). La crisis agrícola de 1785-1786. Ediciones Era.

Fuentes, E. (2021). Agricultura familiar y seguridad alimentaria en el México rural. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 31(58), 1-24. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-91692021000200121&script=sci_arttext

García Mata, R., del Villar Villalón, M. F., y García Salazar, J. A. (2004). Modelo econométrico para determinar los factores que afectan el mercado de la carne de porcino en México. *Interciencia*, 29(8), 414-420.

Guerrero-Baena, M. D., Gómez-Limón, J. A., & Sánchez-Cañizares, S. M. (2021). Determinantes de la adopción de instrumentos de gestión del riesgo en la

agricultura de regadío. Información Técnica Económica Agraria.
<https://doi.org/10.12706/itea.2021.001>

Gobierno de México. (2025). Política Agroalimentaria, productiva, inclusiva y sustentable. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/politica-agroalimentaria-productiva-inclusiva-y-sustentable>

Gollin, D. (2010). The Green Revolution: An historical perspective. En *The Oxford Handbook of Agricultural Economics* (pp. 1-25). Oxford University Press.

González-Estrada, A. (2006). Los subsidios agrícolas de México. *Agrociencia*, 40(3), 365-376. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000300008&script=sci_arttext

González-Estrada, A. (2013). Regularidades de las fluctuaciones cíclicas de la producción agropecuaria de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-449. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000300003&script=sci_arttext

Gujarati, D. N., y Porter, D. C. (2009). *Econometría*. McGraw-Hill.

Granados Sánchez, M. D. R., Galán Figueroa, J., & Aguirre Gómez, 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*, 29(58), 79-96. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-86692020000200079&script=sci_arttext

Granados Sánchez, M. R., Aguirre Gómez, A., & Galán Figueroa, J. (2022). La volatilidad del precio de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México: 2000-2020. *Agricultural and Resource Economics*, 35(2), 145-162.

Hernández Santoyo, A., Ortiz-Paniagua, C. F., y Alcaraz Vera, J. V. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta universitaria*, 33, 1-19.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662023000100125&script=sci_arttext

Hewitt de Alcántara, C. (1978). La modernización de la agricultura mexicana, 1940-1970. Siglo XXI Editores.

ILCE. (2023). La agricultura en México. http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/161/html/sec_16.html

INEGI. (2023). Banco de Información Económica. <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Johnston, B. F., y Mellor, J. W. (1961). The role of agriculture in economic development. *The American Economic Review*, 51(4), 566-593.

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.

Kydland, F. E., y Prescott, E. C. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica*, 50(6), 1345-1370.

Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.

Málaga, J. E., y Williams, G. W. (2010). La competitividad de México en la exportación de productos agrícolas. *Revista mexicana de agronegocios*, 27, 295-309. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14114743002.pdf>

Mahul, O., y Stutley, C. J. (2010). Government support to agricultural insurance: Challenges and options for developing countries. World Bank.

Marwick, B., y Krishnamoorthy, K. (2019). cvequality: Tests for the Equality of Coefficients of Variation from Multiple Groups. Paquete de software R versión 0.1.3. <https://github.com/benmarwick/cvequality>

México: panorama general. (s/f). Recuperado el 25 de febrero de 2025, de <https://www.bancomundial.org/es/country/mexico/overview>

Moctezuma-López, G. (2023). Contribución de la agroindustria alimentaria mexicana al producto interno bruto durante 1993-2019. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(7), 1-13. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342023000700002&script=sci_arttext

Mora Torres, J. Z., y Chitiva Linares, N. J. (2024). Dinámica del PIB agrícola en Colombia: análisis de políticas gubernamentales y proyecciones ARIMA para 2024 [Trabajo de grado, Fundación Universitaria Los Libertadores]. <https://repository.libertadores.edu.co/items/0a930cec-7a11-4f07-abdd-5f0cbdaace5f>

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press.

OCDE. (2022). *Estudios económicos de la OCDE: México 2022*. <https://www.oecd.org/economy/mexico-economic-snapshot/>

Ortiz Paniagua, C. F., & Ortega Gómez, A. M. (2018). Riesgo económico-agrícola y escenarios de cambio climático (2025-2075) en una región del trópico seco mexicano. *Sociedad y Ambiente*, 17. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i17.1843>

Ortiz-Paniagua, C. F., Alcaraz Vera, J. V., & Hernández Santoyo, A. (2023). El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta Universitaria*, 33. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3763>

Pardey, P. G., y Beintema, N. M. (2001). *Slow magic: Agricultural R&D a century after Mendel*. International Food Policy Research Institute.

Parra Trávez, E. D., Faz Cevallos, E., Razo Ascazubi, C. de las M., & Arias Bautista, D. S. (2024). El Riesgo Financiero y su incidencia en la eficiencia de las empresas del sector agrícola del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi 2022. *Revista Social Fronteriza*, 4(1). [https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(1\)147](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(1)147)

PNUMA. (2021). Adaptación basada en Ecosistemas: Guía para la planificación e implementación. <https://www.unep.org/es/resources/publication/adaptacion-basada-en-ecosistemas-guia-para-la-planificacion-e-implementacion>

Plataforma para la Gestión de Riesgos Agrícolas. (s/f). Recuperado el 9 de febrero de 2025, de <https://www.ifad.org/es/iniciativas/plataforma-para-gestion-riesgos-agricolas>

Primera estimación mundial de las repercusiones de las catástrofes en la agricultura. (s/f). Recuperado el 9 de febrero de 2025, de <https://www.fao.org/newsroom/detail/first-ever-global-estimation-of-the-impact-of-disasters-on-agriculture/es>

Producto Interno Bruto. Cuéntame de México. (s/f). INEGI. <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/pib.aspx?tema=E>

Quirós Badilla, D. F. (2019). Riesgo operativo en sistemas de producción agrícola. Propuesta base para su evaluación. *Revista e-Agronegocios*, 5(2). <https://doi.org/10.18845/rea.v5i2.4455>

Ramírez-Juárez, J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 553-566. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>

Rello, F. (s.f.). Eslabonamientos productivos agricultura-agroindustria y su capacidad de generar empleo en México. CEPAL. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/3709/S2005001_es.pdf

Ríos Urzúa, V. (2019). Seguros y agroindustria: Riesgos en la agricultura y mecanismos de transferencia disponibles en el mercado. *Revista Ibero-Latinoamericana de seguros*, 28(50). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ris50.sara>

Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.

Sánchez Cohen, I., Díaz Padilla, G., y Ojeda Bustamante, W. (2008). Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1279>

Scott, J. (2008). Agricultural policy and pro-poor growth in Mexico. World Bank.

Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.

Steffen Riedemann, C. (2007). La focalización de los subsidios a los granos en México. *Polis*, (035). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-23332007000200003&script=sci_arttext

Timbila, M., Rios, M., & Caicedo, F. (2020). EFICIENCIA Y RIESGOS FINANCIEROS EN LAS EMPRESAS AGRÍCOLAS DEL CANTÓN LATACUNGA. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(106). <https://doi.org/10.47460/uct.v24i106.396>

Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., y Espinosa-Calderón, A. (2016). Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1727-1737. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000701727&script=sci_arttext

Yúnez-Naude, A., y Taylor, J. E. (2001). The determinants of nonfarm employment and incomes in rural Mexico. En *World Development Report 2000/2001: Attacking Poverty* (pp. 1-26).

World Bank. (2005). Managing agricultural production risk: Innovations in developing countries. World Bank. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents->

reports/documentdetail/384781468139506455/managing-agricultural-
production-risk