



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

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

ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 053 ESTADO DE COLIMA

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES



Presenta:

VÍCTOR IVÁN CISNEROS MENDOZA

Bajo la supervisión de:

DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN



APROBADA

Chapingo, Estado de México, noviembre de 2024



ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS
EN EL DISTRITO DE RIEGO 053 ESTADO DE COLIMA

Tesis realizada por **VÍCTOR IVÁN CISNEROS MENDOZA** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

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

DIRECTOR:



DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR:



M.C. ADRIÁN GONZÁLEZ ESTRADA

ASESOR:



DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE APÉNDICES	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
DEDICATORIA	xi
AGRADECIMIENTOS	xii
DATOS BIOGRÁFICOS	xiii
RESUMEN GENERAL	xiv
GENERAL ABSTRACT	xv
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos particulares	7
1.5 Hipótesis	7
1.6 Estructura del documento	7
2 REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Descapitalización del sector agrícola	8
2.2 Contexto de riesgos en la agricultura	11
2.2.1 Riesgos de producción	11
2.2.2 Riesgos de mercado	25
2.2.3 Riesgos institucionales	30
2.2.4 Riesgos humanos, personales o sociales	30
2.2.5 Riesgos financieros	31
2.3 Diversificación en la agricultura	32
2.3.1 Concepto de diversificación de cultivos	36

2.3.2	Medición de la diversificación de cultivos	37
2.3.3	Beneficios de la diversificación de cultivos	38
2.3.4	La diversificación de cultivos como estrategia de gestión de riesgos en la agricultura.....	39
2.4	Fundamentos teóricos del riesgo y teoría de portafolios de inversión aplicada al contexto agrícola	40
2.4.1	Nociones y medición del riesgo	40
2.4.2	Modelo “media-varianza” de Markowitz	42
2.5	Descripción de la zona de estudio.....	48
2.5.1	Constitución y localización del Distrito de Riego 053	48
2.5.2	Conformación y comportamiento de la superficie sembrada.....	51
2.5.3	Cultivos con mayor presencia en el ciclo O-I	53
2.5.4	Cultivos con mayor presencia en el ciclo P-V	54
2.5.5	Cultivos perennes con mayor presencia.	55
2.6	Literatura citada.....	57
3	ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 053 ESTADO DE COLIMA	64
3.1	ABSTRACT	64
3.2	RESUMEN	65
3.3	INTRODUCCIÓN	66
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS	67
3.4.1	Datos.....	67
3.4.2	Diversificación	67
3.4.3	Ingreso esperado y riesgo	68
3.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
3.5.1	Análisis de la diversificación de cultivos.	69
3.5.2	Análisis del ingreso esperado y riesgo de ingreso.	70
3.5.3	Análisis de la correspondencia entre riesgos y diversificación.	74
3.6	CONCLUSIONES.....	78
3.7	REFERENCIAS.....	79
4	CONCLUSIONES GENERALES.....	81
5	BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ciclones tropicales en México entre 1970 y 2020.	14
Cuadro 2. Porcentaje de área afectada por sequía según entidad federativa al 30 de abril de 2024.	16
Cuadro 3. Porcentaje de área afectada por sequía según región hidrológico administrativa (RHA) al 30 de abril de 2024.	17
Cuadro 4. Agua renovable per cápita en México, 2020.	22
Cuadro 5. Conformación del Distrito de Riego 053 Estado de Colima.....	50
Cuadro 6. Superficie anual sembrada (ha) en el DR 053 (1997/98-2021/22)...	51
Cuadro 7. Matriz de correlaciones de superficie sembrada (ha) en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	53
Cuadro 8. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo otoño-invierno del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).....	54
Cuadro 9. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo primavera-verano del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	55
Cuadro 10. Participación de cultivos perennes por superficie sembrada acumulada en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).....	56
Cuadro 11. Portafolio de mínimo riesgo de ingreso en el ciclo O-I del DR 053.	71
Cuadro 12. Portafolio de mínimo riesgo de ingreso en el ciclo P-V del DR 053.	72
Cuadro 13. Portafolio de mínimo riesgo de ingreso en cultivos perennes.	74
Cuadro 14. Matriz de correlaciones (%) entre riesgos y diversificación en el ciclo O-I de DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).....	75
Cuadro 15. Matriz de correlaciones (%) entre riesgos y diversificación en el ciclo P-V del DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).	76
Cuadro 16. Matriz de correlaciones (%) entre riesgos y diversificación en cultivos perennes del DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cultivos de papaya y plátano en Coahuayana de Hidalgo, Michoacán, México, afectados tras el paso de los huracanes “Patricia” y “Lidia” en octubre de 2015 y 2023, respectivamente.	2
Figura 2. Tasas de crecimiento acumuladas de la inflación (INPC) y del precio medio rural nominal (PMRN) de algunos productos agrícolas en México.....	8
Figura 3. Tasas de crecimiento acumuladas de la inflación (INPC) y del precio medio nominal (PMN) de algunos fertilizantes en México.	9
Figura 4. Tendencias del precio medio real (PMR) de algunos fertilizantes de uso agrícola en México.....	10
Figura 5. Tendencias del precio medio rural real (PMRR) algunos productos agrícolas en México (1980-2021).....	10
Figura 6. Número de desastres extremos relacionados con el clima en países de ingresos bajos y medianos (1990-2016).	12
Figura 7. Pérdidas agrícolas totales como porcentaje del PIB agrícola por categoría de países (1991-2021).	13
Figura 8. Porcentaje de daños y pérdidas por subsector primario debido a catástrofes climáticas (2006-2016).	13
Figura 9. Porcentaje de daños y pérdidas en la agricultura en relación con las afectaciones totales en la economía por tipo de catástrofe (2006-2016).	14
Figura 10. Monitor de sequía en México al 30 de abril de 2024.....	15
Figura 11. Evolución del porcentaje de área afectada por sequía en México..	17
Figura 12. Tipos de la degradación de la tierra según la gravedad de las presiones ejercidas por el hombre y las tendencias de deterioro (2015).	19
Figura 13. Principales procesos y niveles de degradación de los suelos en México (2002).	20
Figura 14. Recursos de agua dulce renovables per cápita (m ³ /año) desglosados por región (1997-2017).	21

Figura 15. Nivel de estrés hídrico de todos los sectores por cuenca principal según el indicador 6.4.2 de los ODS (2018).	23
Figura 16. Extracciones mundiales de agua por sectores (1990-2017).	24
Figura 17. Acuíferos con disponibilidad (2019 y 2020).	25
Figura 18. Precios del maíz blanco en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).	26
Figura 19. Precios del trigo en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).	27
Figura 20. Precios del arroz en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).	27
Figura 21. Precios de la pasta de soya en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).	28
Figura 22. Precios nacionales de algunos fertilizantes agrícolas (pesos/ton)... ..	28
Figura 23. Precio promedio del petróleo (dólares/barril), 2019-2023.	29
Figura 24. Serie de tiempo sobre tipo de cambio FIX (11/oct/2020-19/oct/2022).	29
Figura 25. Serie de tiempo sobre la TIE de fondeo a 182 días en México (porcentaje anual), 07/abr/2011-07/oct/2024.	31
Figura 26. Diversificación vertical en la agricultura.	33
Figura 27. Ejemplo de diversificación temporal (a) y espacial (b) a través de la sustitución de cultivos.	34
Figura 28. Diversificación de un portafolio agrícola mediante la sustitución interna de cultivos.	35
Figura 29. Ejemplos de diversificación de portafolios agrícolas mediante la intensificación de cultivos.	36
Figura 30. Distribución de los distritos de riego en México.	48
Figura 31. Distribución de las unidades de riego en México.	49
Figura 32. Localización del Distrito de Riego 053 Estado de Colima.	50

Figura 33. Comportamiento de la superficie sembrada en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	52
Figura 34. Participación promedio por grupo de cultivos en la superficie anual sembrada (ha) del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	53
Figura 35. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo otoño-invierno del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).....	54
Figura 36. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo primavera-verano del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	55
Figura 37. Participación de cultivos perennes por superficie sembrada acumulada en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	56
Figura 38. Índice de Herfindahl del DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22). ..	70
Figura 39. Ingreso esperado y riesgo de ingreso en el ciclo O-I del DR 053....	71
Figura 40. Ingreso esperado y riesgo de ingreso en el ciclo P-V del DR 053... ..	72
Figura 41. Ingreso esperado y riesgo de ingreso en cultivos perennes.	73
Figura 42. Riesgos y diversificación en el ciclo O-I (1997/98-2021/22).	75
Figura 43. Riesgos y diversificación en el ciclo P-V (1997/98-2021/22).	76
Figura 44. Riesgos y diversificación en cultivos perennes (1997/98-2021/22). ..	77

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A. Tablas de cálculo de las tasas de crecimiento acumuladas de la inflación y precios de algunos productos agrícolas en México (1980-2021).	86
Apéndice B. Tablas de cálculo de las tasas de crecimiento acumuladas de la inflación y precios de algunos fertilizantes en México (2000-2021).	91
Apéndice C. Matrices de varianzas y covarianzas de rendimientos, precios e ingresos en el ciclo otoño-invierno del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).....	95
Apéndice D. Matrices de varianzas y covarianzas de rendimientos, precios e ingresos en el ciclo primavera-verano del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).....	98
Apéndice E. Matrices de varianzas y covarianzas de rendimientos, precios e ingresos en cultivos perennes del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).	101

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Palabra	Significado
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
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua	Órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
DR	Distrito de Riego	Proyecto de irrigación establecido mediante decreto presidencial, conformado por una o varias superficies de riesgo e infraestructura hidroagrícola
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
ha	Hectárea	Área de 10,000 m ²
hm ³	Hectómetro cúbico	Unidad de volumen equivalente a un millón de metros cúbicos
IH	Índice de Herfindahl	Indicador que mide el grado de diversificación o concentración de un portafolio de activos
SIACON-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
SNIIM-SE	Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados de la Secretaría de Economía	Servicio en línea que ofrece información sobre los precios al mayoreo de productos agrícolas, pecuarios y pesqueros en los mercados nacionales e internacionales
ton	Tonelada	Medida de peso de 1,000 kg

DEDICATORIA

A mis padres J. Jesús Cisneros Gutiérrez (†) y Josefina Mendoza Ontiveros, por darme la oportunidad de vivir y la libertad para seguir mis sueños.

A mis hermanos y sus familias «Luz, Chava, Tere, Mago, Edel, Toño, Felipe, Olga, Chapis y Gaby», que siempre han estado para mí.

A mis amigos «Bernabé Laureano, Fernando Iturbe, Gerson Correa, Joel Santillanes, Oswaldo Carrillo y Shawn Walsh», por la inspiración, la orientación y el apoyo que me han obsequiado para progresar en la vida.

A todas aquellas personas que han sido parte de mi evolución como ser humano y a quienes han compartido algún instante de la vida conmigo.

Con amor, humildad y gratitud,

Iván

AGRADECIMIENTOS

Al universo, por conducirme hacia el camino de la superación y rodearme de personas extraordinarias que de alguna u otra manera han alimentado mis deseos de trascender en la vida; y a Dios por concederme un espíritu triunfador, salud, disciplina y persistencia para alcanzar mis metas.

A mi país, por haber financiado mis estudios de maestría a través del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).

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

A los integrantes del Comité Asesor: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián, M.C. Adrián González Estrada y Dr. Ramón Valdivia Alcalá; por su disposición, compromiso y esfuerzo adjudicados para la realización del presente trabajo de investigación.

A la Subdirección de Análisis de Riesgos de Crédito (SARC) de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), por haberme dado la oportunidad de complementar mi formación académica mediante una estancia de capacitación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Víctor Iván Cisneros Mendoza
Fecha de nacimiento: 09 de junio de 1997
Lugar de nacimiento: Coahuayana, Michoacán
No. Cartilla Militar: D – 4895565
CURP: CIMV970609HMNSNC01
Profesión: Ingeniero en Irrigación
No. Cédula Profesional: 12918429



Desarrollo académico

2015-2020 Texcoco, Estado de México	Ingeniería en Irrigación Universidad Autónoma Chapingo
2012-2015 Coahuayana, Michoacán	Técnico en Administración CBTA 140
2009-2012 Coahuayana, Michoacán	Técnico en Agricultura y Ganadería Escuela Secundaria Técnica 8

Formación adicional

16 de marzo - 15 de agosto 2024 SARC, FIRA Oficina Central	Estancia de capacitación: Administración de riesgos de crédito
Junio - septiembre 2020 CEC, UACH	Diplomado de titulación: Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión
Julio - agosto 2019 Winnipeg, Manitoba, Canadá	Curso intensivo de inglés académico University of Manitoba

RESUMEN GENERAL

ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 053 ESTADO DE COLIMA

El escenario actual y futuro de riesgo e incertidumbre en la agricultura es preocupante y debe gestionarse apropiadamente en beneficio tanto de la estabilidad económica, productiva y social de sus productores como de la sostenibilidad y prosperidad del sector agroalimentario. El objetivo principal de esta investigación consistió en examinar el potencial de la diversificación de cultivos agrícolas como estrategia de administración de riesgos en el Distrito de Riego 053 Estado de Colima en el periodo 1997/98-2021/22. Para esto, se analizó la correspondencia entre los niveles de riesgo de rendimiento, precio e ingreso y el grado de diversificación de los portafolios agrícolas anuales en el ciclo otoño-invierno (O-I), primavera-verano (P-V) y cultivos perennes. La diversificación fue medida a través del índice de Herfindahl (IH). El riesgo se interpretó como la inestabilidad de las variables, se representó por la desviación estándar y fue calculado de conformidad con la metodología media-varianza de Markowitz. Se encontró que la diversificación del portafolio agrícola es una estrategia útil para reducir el riesgo de precio en los dos ciclos agrícolas, así como el riesgo de rendimiento e ingreso en cultivos perennes (correlaciones significativamente positivas), pero desfavorable para gestionar estos dos últimos tipos de riesgo en el ciclo P-V (correlaciones considerablemente negativas). Se observó también que en los tres grupos de cultivos, el riesgo de ingreso está determinado básicamente por la variación de los precios (riesgo de mercado). Se concluye que para contribuir positivamente a la estabilidad de los ingresos en el distrito se debe poner especial atención a la gestión de las fluctuaciones de los precios (riesgo de mercado) en los tres grupos de cultivos y al aumento de la diversificación principalmente en cultivos perennes.

Palabras clave: portafolios agrícolas, índice de Herfindahl, gestión de riesgos.

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

Autor: Víctor Iván Cisneros Mendoza.

Director de Tesis: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián.

GENERAL ABSTRACT

EMPIRICAL ANALYSIS OF CROP DIVERSIFICATION IN THE 053 STATE OF COLIMA IRRIGATION DISTRICT

The current and future scenario of risk and uncertainty in agriculture is worrying and must be properly managed for the benefit of both the economic, productive and social stability of its producers and the sustainability and prosperity of the agri-food sector. The main objective of this research was to examine the potential of crop diversification as a risk management strategy in the 053 State of Colima Irrigation District in the period 1997/98-2021/22. For this, the relationship between yield, price and income risk levels and diversification degree of the annual agricultural portfolios in the autumn-winter (A-W), spring-summer (S-S) cycle and perennial crops was analyzed. Diversification was measured through the Herfindahl index (HI). Risk was interpreted as the variables' instability, was represented by the standard deviation and was calculated according to Markowitz's mean-variance methodology. It was found that agricultural portfolio diversification is an useful strategy to reduce price risk in the two agricultural cycles, as well as yield and income risk in perennial crops (significantly positive correlations) but unfavorable to manage these last two types of risk in the S-S cycle (considerably negative correlations). It was also observed that in the three crop groups, income risk is basically determined by the price variation (market risk). It is concluded that in order to contribute positively to the income stability in the irrigation district, special attention should be paid to the management of price fluctuations (market risk) in the three crop groups and to increasing diversification mainly in perennial crops.

Key words: agricultural portfolios, Herfindahl index, risk management.

Master in Science Thesis, Agricultural and Natural Resources Economics, Chapingo Autonomous University.

Author: Víctor Iván Cisneros Mendoza.

Thesis advisor: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La agricultura es una actividad muy noble e imprescindible para la seguridad alimentaria; sin embargo, los agricultores se enfrentan a situaciones cada vez más adversas que amenazan su estabilidad económica, productiva y social (Duncan y Myers, 2000). Un ejemplo de esto es el desalentador escenario de rentabilidad y descapitalización propiciado por los altos costos de los factores de la producción (fertilizantes, semillas, maquinaria y equipo, combustible, sistemas de riego, financiamiento, etc.) y los bajos precios de comercialización de los productos agrícolas (BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023; BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023). Además, la alta exposición y vulnerabilidad del sector a múltiples fuentes de riesgo¹ agrega una considerable incertidumbre a sus ingresos.

Komarek et al. (2020) señalan la coexistencia de cinco tipos generales de riesgos en la agricultura: 1) riesgos de producción, 2) riesgos de mercado, 3) riesgos institucionales, 4) riesgos personales y 5) riesgos financieros. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés] (2021), algunos de estos peligros se han multiplicado en los últimos años como consecuencia del cambio climático, la degradación de los suelos y la escasez de agua.

En este contexto y considerando que a escala mundial, la mayor parte de la población en situación de pobreza extrema (aproximadamente el 80%) reside en el medio rural de los países en desarrollo, y que su subsistencia depende en mayor medida de la agricultura (FAO, 2021); la implementación de políticas, instrumentos y estrategias que reduzcan la incertidumbre asociada a esta actividad económica y, en consecuencia, favorezcan la estabilidad financiera de sus productores, adquiere especial importancia.

¹ El riesgo, según Bodie y Merton, 1998, citados por Harwood et al. (1999), se entiende como la incertidumbre que afecta el bienestar de un individuo y, a menudo, se relaciona con la adversidad y la pérdida. Por su parte, la incertidumbre se asocia al hecho de no saber con certeza lo que sucederá en el futuro e implícitamente implica un riesgo, pero no necesariamente conduce a situaciones negativas o desfavorables (Harwood et al., 1999; Téllez Cabrera, 2010).

1.1 Planteamiento del problema

A nivel global, el sector agropecuario registra notables daños y pérdidas anuales en la producción debido a factores climáticos, biológicos y ambientales (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2021; Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021; FAO, 2021; FAO, 2023). De hecho, las afectaciones más graves ocurren en el subsector agrícola esencialmente por concepto de sequía (FAO et al., 2018).

En particular, México, debido a su posición geográfica, es un país sumamente vulnerable a contingencias climáticas como sequías, heladas, tormentas tropicales y huracanes [véase figura 1] (Saldaña-Zorrilla, 2015). Asimismo, gran parte del territorio nacional presenta serios problemas de fertilidad, erosión y salinidad de los suelos (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y Colegio de Postgraduados [COLPOS], 2003). También, la situación de disponibilidad de agua es preocupante en algunas regiones del país (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2022).



Figura 1. Cultivos de papaya y plátano en Coahuayana de Hidalgo, Michoacán, México, afectados tras el paso de los huracanes “Patricia” y “Lidia” en octubre de 2015 y 2023, respectivamente. Fuente: Propia.

Evidentemente, las perturbaciones en la producción (rendimientos) y en el mercado (precios) generadas por estos agentes, propician a su vez un importante dinamismo en los ingresos de los productores que compromete en primer lugar; su estabilidad económica, productiva y social (Duncan y Myers, 2000), y en segundo; la sostenibilidad del sector agroalimentario y la seguridad alimentaria, sobre todo en los países más pobres (FAO, 2021).

Por esta razón, resulta indispensable adoptar mecanismos y/o estrategias de gestión de riesgos en el sector que brinden mayor certeza, tranquilidad y solidez económica a sus productores (Solano-Alonso et al., 2021); quienes son la base de la alimentación y la nutrición en el mundo.

En México se conocen diversas herramientas de administración de riesgos del sector agropecuario. Algunas de estas son:

- Riesgos de producción: asistencia técnica, innovación tecnológica (sistemas de riego, drones, sensores, biotecnología, etc.), agricultura de conservación, agricultura protegida, ganadería sustentable, diversificación de actividades (cultivos), seguro agropecuario y fondos de autoseguro.
- Riesgos ambientales y sociales (RAS): aplicación de los Principios de Ecuador (marco de referencia para la identificación, evaluación y administración de los RAS).
- Riesgos de mercado: infraestructura de almacenamiento, agricultura por contrato y coberturas de precio, tipo de cambio y tasas de interés.
- Programas de gobierno: precios de garantía, atención ante desastres y fideicomisos de asistencia técnica y garantía (Fondo Especial de Asistencia Técnica y Garantía para Créditos Agropecuarios [FEGA] y Fondo Nacional de Garantías de los Sectores Agropecuario, Forestal, Pesquero y Rural [FONAGA]).

Es importante determinar de manera empírica qué tan eficaz ha sido el desempeño de estos instrumentos o estrategias en la reducción de algunos de los riesgos inherentes al sector y su contribución a la estabilización de los ingresos agrícolas. Esta investigación se enfoca justamente en responder esta inquietud específicamente para la diversificación de cultivos en el Distrito de Riego 053 Estado de Colima, México.

1.2 Antecedentes

La diversificación de cultivos ha sido estudiada desde diferentes perspectivas (agronómica, ambiental, económica, social, políticas públicas, entre otras) y a distintos niveles geográficos (local, municipal, estatal, etc.), principalmente en la

India (Dalal y Shankar, 2022); como puede apreciarse en las investigaciones desarrolladas por Birthal et al. (2015); Kumar y Gupta (2015); Chhatre et al. (2016); Basantaray y Nancharaiah (2017); Mukherjee y Chattopadhyay (2017); Mithiya et al. (2018); Singh et al. (2018); Nayak y Kumar (2019); Shelton Peter y Prabakar (2020); Malaisamy (2021); Barman et al. (2022); Vekariya et al. (2022); Preeti y Sihmar (2023); Ralte y Priscilla (2023); y otros, cuyos objetos de estudio han sido analizar sus tendencias, patrones y alcances; examinar los factores que influyen en su adopción; cuantificar su impacto en la productividad, en los ingresos y en la rentabilidad de los agricultores; revisar su contribución a la reducción de la pobreza, generación de empleo, seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de la agricultura; entre otros. Sin embargo, son escasos los trabajos que abordan la evaluación ex post de su eficiencia como estrategia de gestión de riesgos en el sector agrícola. Dentro de los pocos estudios identificados con este enfoque destacan los descritos a continuación:

- El realizado por Mukherjee (2012), quien utilizó el índice de Herfindahl y la metodología media-varianza de Markowitz para explorar la relación entre la diversificación de cultivos y los riesgos de rendimiento y precio en los principales estados de la India. Sus resultados confirmaron que la estrategia no ha sido capaz de reducir el riesgo de rendimiento en los estados indios (correlación significativamente positiva) y no mostraron suficientes elementos para hacer conclusiones con respecto a su relación con el riesgo de precio (correlación baja e insignificante).
- Por su parte, Birthal y Hazrana (2019) evaluaron a través de un enfoque dinámico de datos de panel a nivel de distrito en la India, la efectividad de la diversificación de cultivos para mitigar las repercusiones del estrés hídrico (déficit de precipitación) y térmico (temperaturas extremas) en los rendimientos agrícolas. Su análisis demostró que la diversificación de cultivos es una técnica de adaptación importante para aumentar la resiliencia de la agricultura a dichas adversidades climáticas; siendo más evidentes sus beneficios en el largo plazo.

- Análogamente, en Kenia, Ochieng et al. (2020) analizaron la adopción de la diversificación de cultivos como estrategia de gestión de riesgos climáticos en las pequeñas explotaciones agrícolas. Sus resultados indicaron que la estrategia es mayormente adoptada por los pequeños agricultores de las regiones con climas más cálidos para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en la productividad agrícola.

En México, la diversificación de cultivos constituye un tema de gran interés desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola, primordialmente. Instituciones como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y distintas universidades han llevado a cabo múltiples investigaciones sobre la rotación y asociación de cultivos² como medio para contribuir a mejorar la biodiversidad y la salud del suelo; reducir los impactos de las plagas, enfermedades, malezas y del clima en la producción agrícola; evitar contracciones en los ingresos a causa de fluctuaciones en el precio de venta de algún producto específico; entre otros (enfoque de agricultura de conservación).

Particularmente, el estudio de tipo exploratorio llevado a cabo por Román-Montes de Oca et al. (2020) en la comunidad de Tanhuato Michoacán, México, analizó la diversificación de las fuentes de ingreso de sus productores desde la óptica de desarrollo rural. Sus resultados revelaron que las unidades familiares diversifican la producción agrícola en cultivos como cebada, sorgo, jitomate, avena, chile jalapeño y cebolla con el fin de mejorar sus ingresos. Asimismo, indicaron que la diversificación de cultivos ha sido una estrategia beneficiosa para los agricultores rurales porque les ha ayudado a enfrentar algunos obstáculos relacionados con el mercado y la variabilidad climática de los últimos años (altos costos de los insumos, bajos precios de comercialización y pérdidas de cosecha).

² La rotación se refiere a alternar dos cultivos diferentes en la misma parcela de manera secuencial, es decir, uno después de otro; mientras que la asociación es la combinación de dos o más cultivos en la misma parcela y al mismo tiempo.

1.3 Justificación

Los efectos perjudiciales del cambio climático (aumento de la temperatura, propagación de plagas cada vez más peligrosas, mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos, alteración de los patrones de precipitación, etc.), la progresiva degradación antropogénica de los suelos (erosión, contaminación, pérdida de fertilidad, etc.) y la creciente escasez de agua en algunas regiones del mundo (como en el norte de México y suroeste de Estados Unidos), constituyen en conjunto un panorama actual y futuro de riesgos e incertidumbre en la agricultura de carácter alarmante que debe gestionarse adecuadamente en favor del bienestar de los agricultores y de la prosperidad del sector agroalimentario (FAO, 2020; FAO, 2023).

La diversificación de cultivos es considerada desde la perspectiva ambiental como una de las vías más factibles, rentables y lógicas para reducir la incertidumbre en la agricultura, especialmente en las pequeñas explotaciones (Mango et al., 2018; Barman et al., 2022; Joshi, 2005, citado por Paroda, 2022). Sin embargo, en México no hay suficientes estudios empíricos que demuestren que dicha práctica es realmente útil para aminorar los riesgos y estabilizar los ingresos de los agricultores.

La presente investigación es una aportación que intenta descubrir el potencial de la diversificación de cultivos como mecanismo de administración de riesgos en el sector agrícola. Los resultados derivados del análisis pueden servir como referencia para que los productores del Distrito de Riego 053 Estado de Colima y zonas aledañas (principalmente) diversifiquen o concentren su producción en beneficio de una mayor estabilidad en sus ingresos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Examinar el potencial de la diversificación de cultivos agrícolas como estrategia de administración de riesgos en el Distrito de Riego 053 Estado de Colima en el periodo 1997/98-2021/22.

1.4.2 Objetivos particulares

- a) Realizar un análisis descriptivo de la conformación y el comportamiento de la superficie sembrada en el distrito durante el periodo de estudio.
- b) Revisar las tendencias de la diversificación, el riesgo de ingreso y el ingreso esperado en el distrito.
- c) Identificar el portafolio agrícola de mínimo riesgo de ingreso (histórico).
- d) Analizar la correspondencia entre los niveles de riesgo de rendimiento, precio e ingreso y el grado de diversificación de los portafolios agrícolas.
- e) Determinar desde el punto de vista empírico si la diversificación de cultivos reduce o no el riesgo de ingreso en el distrito.
- f) En función de los resultados, hacer las recomendaciones pertinentes que pudieran contribuir a mejorar la estabilidad de los ingresos en el distrito.

1.5 Hipótesis

La hipótesis principal de este estudio es que “la diversificación de cultivos agrícolas en el Distrito de Riego 053 Estado de Colima tiene una correlación baja e insignificante con el riesgo de ingreso y, por lo tanto, no puede considerarse como una estrategia útil para administrarlo”.

1.6 Estructura del documento

A partir de este apartado, el documento se organiza de la siguiente manera. En el capítulo próximo se presenta una revisión de literatura que describe: (a) mediante algunos insumos y productos agrícolas seleccionados, el deprimente escenario de rentabilidad y descapitalización que viven particularmente los pequeños agricultores en México; (b) el angustiante panorama de riesgos e incertidumbre en el sector agropecuario; (c) el concepto de la diversificación agrícola, sus beneficios y algunos métodos para medirla; (d) los fundamentos teóricos del riesgo y la teoría de portafolios de inversión aplicada al contexto agrícola; y (e) la zona de estudio. Después, en el tercer capítulo se muestra el artículo científico derivado de la presente investigación. Por último, en el capítulo cuatro se comentan las conclusiones y recomendaciones generales.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descapitalización del sector agrícola

Una de las circunstancias que ejerce mayor presión sobre la estabilidad económica, productiva y social de los agricultores es el desproporcional crecimiento entre la inflación (y en particular, los costos de los factores de la producción [fertilizantes, semillas, pesticidas, mano de obra, maquinaria y equipo, combustible, crédito, etc.]) y los precios de comercialización de los productos agrícolas (Chhatre et al., 2016). Según datos del Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (BIE-INEGI) y del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIACON-SIAP) (2023), de 1980 a 2021 la inflación en México se multiplicó 1845 veces, mientras que los precios nominales del arroz, copra, melón y naranja se multiplicaron tan solo 887, 776, 1397 y 983 veces, respectivamente (véase figura 2); es decir, la tasa de crecimiento acumulada de la inflación al 2021 supera al promedio de las tasas de crecimiento acumuladas de los precios nominales de estos productos agrícolas (1010.8) en 1.8 veces (casi al doble).

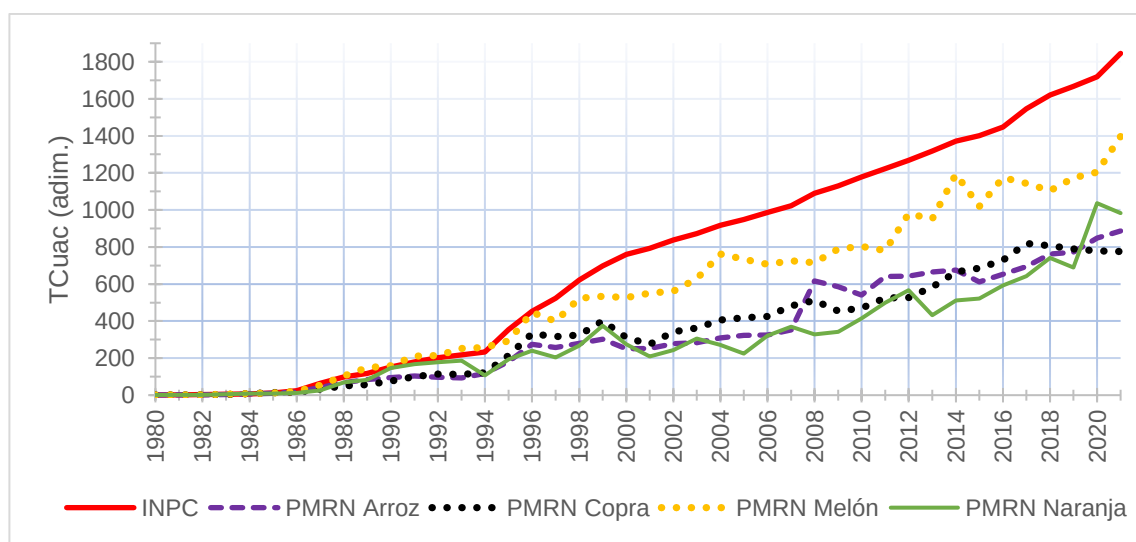


Figura 2. Tasas de crecimiento acumuladas de la inflación (INPC) y del precio medio rural nominal (PMRN) de algunos productos agrícolas en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023.

Igualmente, con base en datos del BIE-INEGI y del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados de la Secretaría de Economía (SNIIM-SE) (2023), se aprecia que de 2000 a 2021 la inflación en México se multiplicó 2.4 veces, mientras que los precios nominales de algunos fertilizantes de uso común en la agricultura como la urea, el superfosfato triple, cloruro de potasio y triple 17 se multiplicaron 5.8, 4.4, 4.6 y 4.9 veces, respectivamente (véase figura 3); es decir, el promedio de las tasas de crecimiento acumuladas de los precios nominales de estos insumos al 2021 (4.9) supera al doble la tasa de crecimiento acumulada de la inflación.

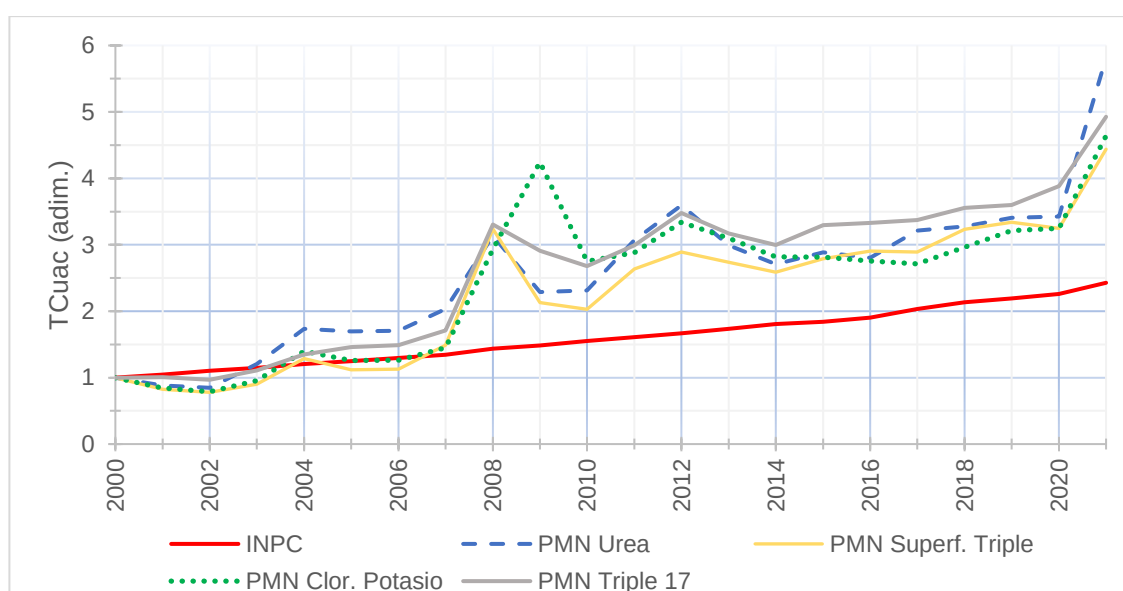


Figura 3. Tasas de crecimiento acumuladas de la inflación (INPC) y del precio medio nominal (PMN) de algunos fertilizantes en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023.

En síntesis, se observa que al 2021 los precios nominales de los fertilizantes seleccionados crecieron en promedio dos veces más que la inflación, y esta última a su vez creció aproximadamente el doble que el promedio de los precios nominales de los productos agrícolas analizados; es decir, existe una brecha promedio entre ambos de alrededor del 400%. En términos reales, el contraste entre las tendencias en los precios de los fertilizantes y cultivos señalados consiste en que los precios de los primeros crecen con el tiempo, mientras que los de estos últimos decrecen (véase figuras 4 y 5).

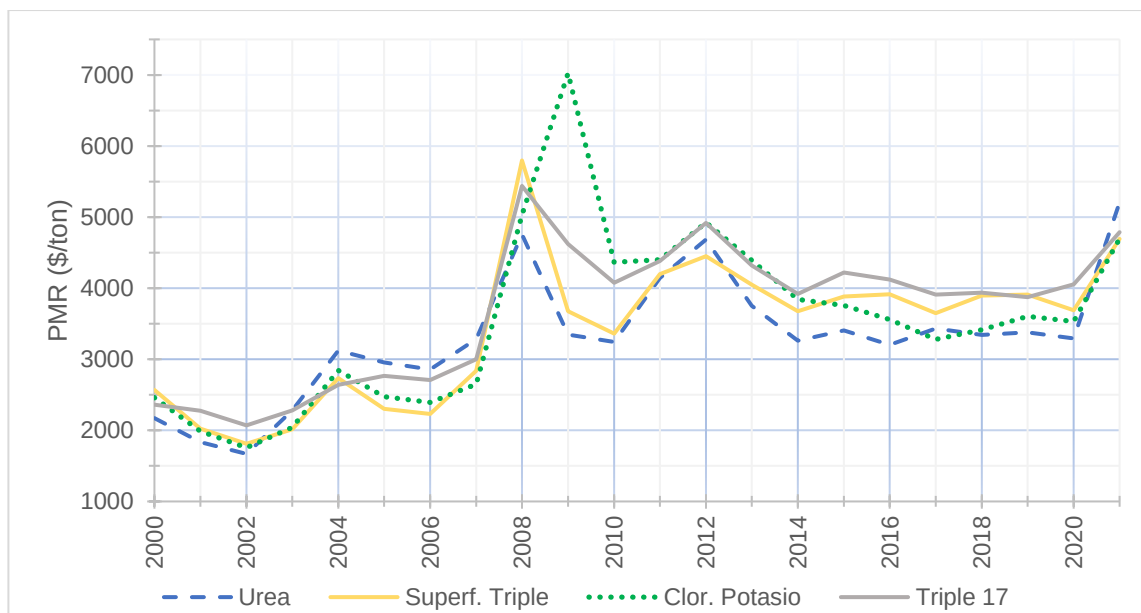


Figura 4. Tendencias del precio medio real (PMR) de algunos fertilizantes de uso agrícola en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023.

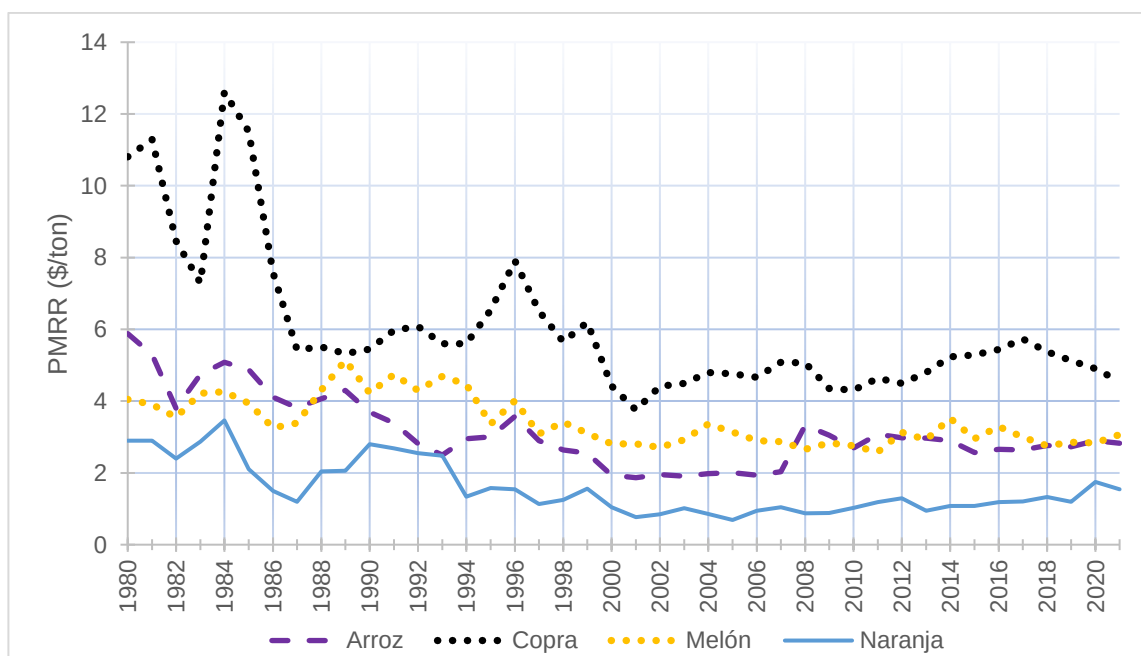


Figura 5. Tendencias del precio medio rural real (PMRR) algunos productos agrícolas en México (1980-2021).

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023.

En relación con estos gráficos, se aprecia que de 2000 a 2021 el precio real de la urea, el superfosfato triple, cloruro de potasio y triple 17 creció en un 139%, 83%, 91% y 103%, respectivamente (promedio de crecimiento del 104%); mientras que de 1980 a 2021 el precio real del arroz, copra, melón y naranja decreció en un 52%, 58%, 24% y 47%, respectivamente (promedio de decrecimiento del 45%). Esta situación implica evidentemente una reducción de los márgenes de utilidad y una pérdida de poder adquisitivo (descapitalización) de los agricultores a través del tiempo.

Las tablas de cálculo de los gráficos presentados en esta sección se muestran en el Apéndice A y Apéndice B.

2.2 Contexto de riesgos en la agricultura

Además de la realidad que vive el agricultor en su papel de generar valor y transferirlo a otros sectores de la economía, se debe sumar que, a diferencia del trabajador asalariado, su ingreso está expuesto a múltiples fuentes de riesgo. De acuerdo con Komarek et al. (2020), en la agricultura coexisten cinco tipos generales de riesgos: 1) riesgos de producción, 2) riesgos de mercado, 3) riesgos institucionales, 4) riesgos personales y 5) riesgos financieros. A continuación se describe cada uno de ellos.

2.2.1 Riesgos de producción

Los riesgos de producción son riesgos inherentes al proceso natural de crecimiento de los cultivos, cuyos factores provocan la reducción parcial o total de los rendimientos agrícolas (Harwood et al., 1999). Dentro de este tipo de riesgos destaca el riesgo climático; con factores de riesgo como temperaturas extremas, sequías, tormentas tropicales, huracanes, inundaciones, vientos excesivos, etc. Además, a este tipo de riesgos (de producción) se suma el riesgo ambiental (de carácter físico, químico y biológico); relacionado con la contaminación y degradación del medio ambiente (suelo y agua, principalmente [escasez de agua, erosión y salinidad del suelo, pérdida de la biodiversidad, etc.]), incidencia de plagas y enfermedades, entre otros (FAO, 2023).

Peligros climáticos

La FAO (2023) argumenta el alto grado de exposición y vulnerabilidad del sector agrícola a los riesgos climáticos y ambientales dada su gran dependencia de los recursos naturales y de las condiciones climáticas. Asimismo, dicha entidad advierte que los desastres naturales relacionados con el clima han aumentado en frecuencia e intensidad en los últimos años debido a la crisis climática (véase figura 6); provocando niveles extraordinarios de daños y pérdidas que afectan seriamente la sostenibilidad del sector agroalimentario y ponen en peligro la seguridad alimentaria, principalmente en los países de ingresos bajos, cuyas pérdidas oscilan entre el 10 y 15% de su PIB agrícola total (véase figura 7).

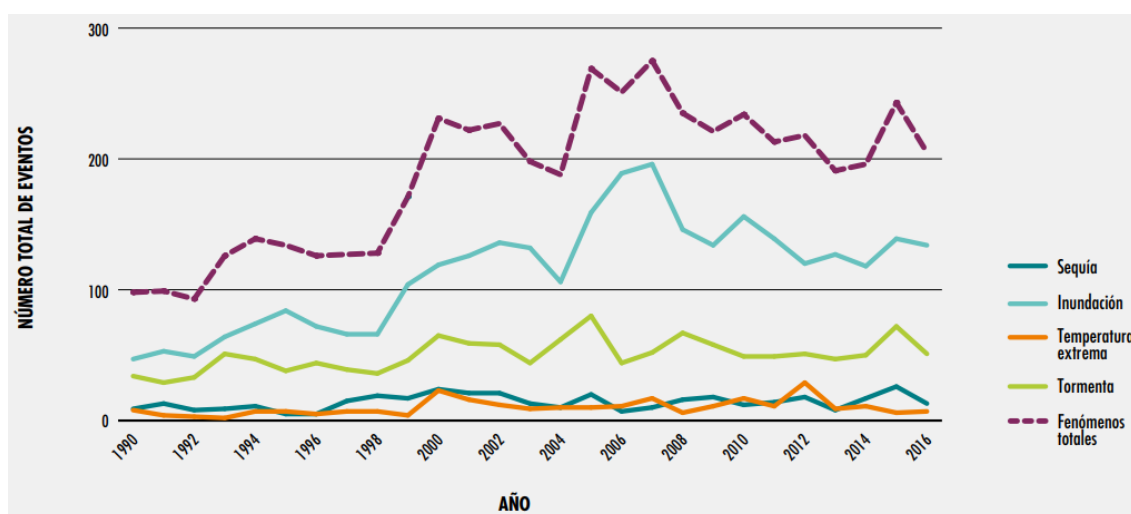


Figura 6. Número de desastres extremos relacionados con el clima en países de ingresos bajos y medianos (1990-2016).

Fuente: FAO et al., 2018.

Según estimaciones de la FAO (2023), el valor monetario de las pérdidas en producción agropecuaria en los últimos 30 años debido a las catástrofes climáticas ronda los 3.8 billones de dólares, es decir, una pérdida media anual de 123 mil millones de dólares (equivalente al 5% del PIB agrícola mundial o al PIB real de Brasil en 2022). En promedio, las pérdidas y daños observados en el sector agrícola durante el periodo 1992-2021 representan el 23% de las pérdidas totales en la economía debido a estos fenómenos.

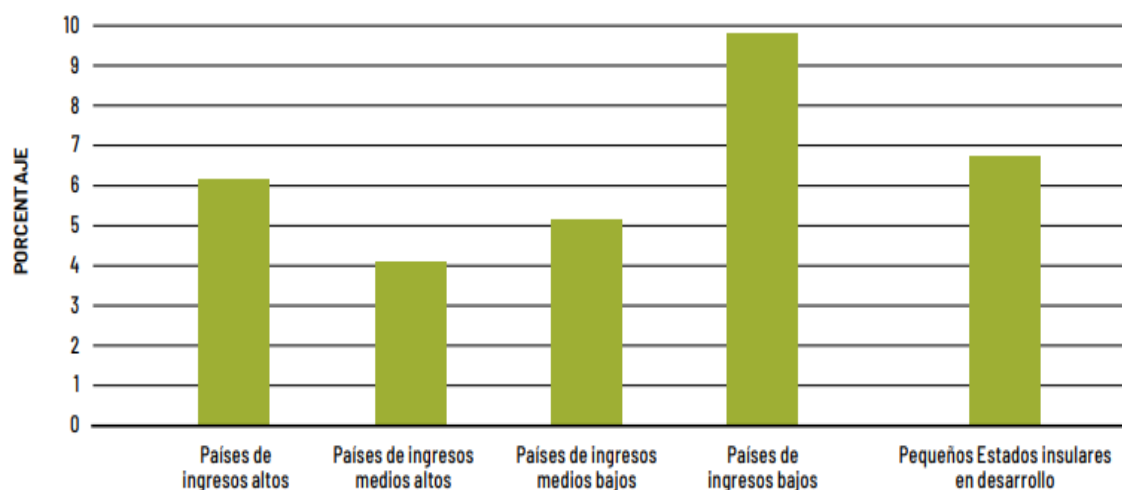


Figura 7. Pérdidas agrícolas totales como porcentaje del PIB agrícola por categoría de países (1991-2021).

Fuente: FAO, 2023.

A nivel subsector primario, los cultivos agrícolas son quienes sufren las mayores afectaciones a raíz de las catástrofes climáticas (véase figura 8), de las cuales la sequía es responsable de más del 80% de los daños y pérdidas totales (véase figura 9) (FAO et al., 2018).

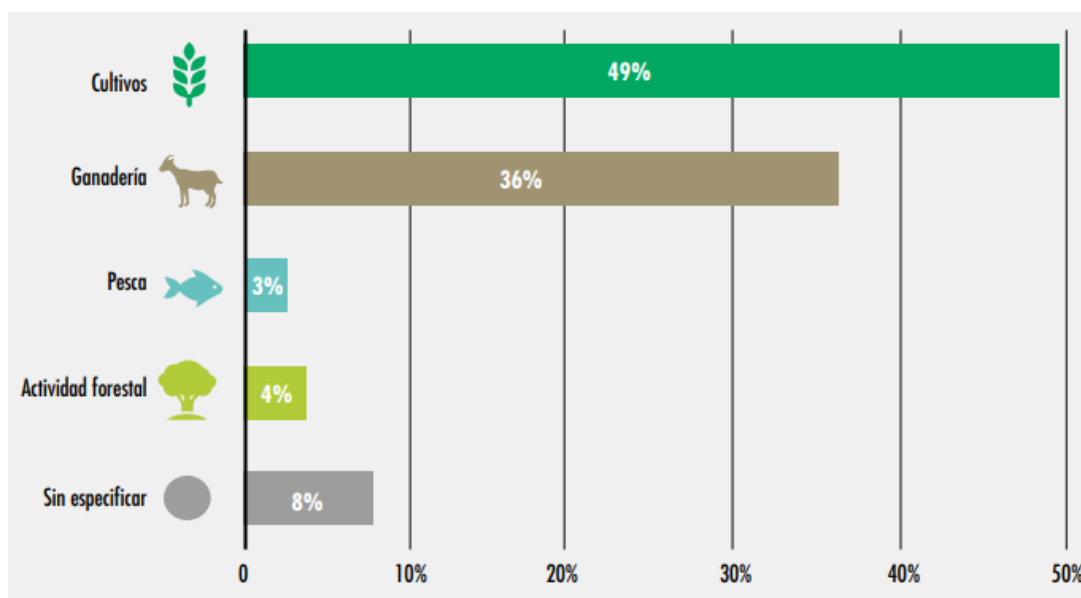


Figura 8. Porcentaje de daños y pérdidas por subsector primario debido a catástrofes climáticas (2006-2016).

Fuente: FAO et al., 2018.

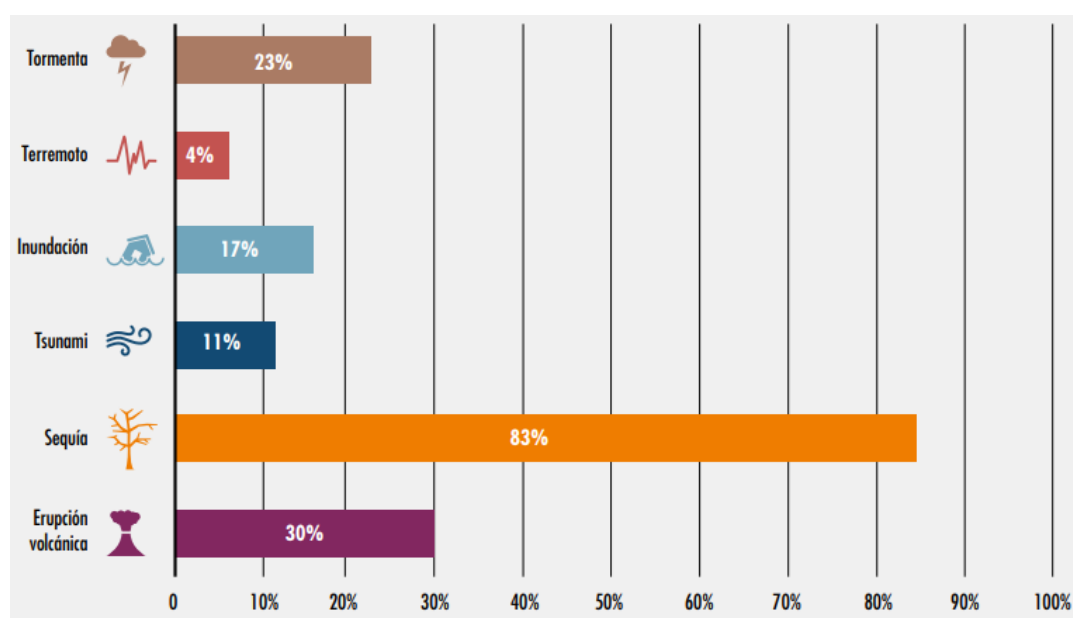


Figura 9. Porcentaje de daños y pérdidas en la agricultura en relación con las afectaciones totales en la economía por tipo de catástrofe (2006-2016).

Fuente: FAO et al., 2018.

En el caso particular de México, Saldaña-Zorrilla (2015) reconoce la alta exposición del país a una amplia variedad de peligros naturales, resaltando como principales amenazas las tormentas tropicales y huracanes en las costas del Pacífico y del Atlántico. Según información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), citado por CONAGUA (2022), entre 1970 y 2020 las costas de México recibieron el impacto de 255 ciclones tropicales; 159 de estos en el océano pacífico y 96 en el atlántico (véase cuadro 1).

Cuadro 1. Ciclones tropicales en México entre 1970 y 2020.

Océano	Depresiones tropicales	Tormentas tropicales	Huracanes moderados (H1 y H2)*	Huracanes intensos (H3-H5)*	Total
Atlántico	30	34	20	12	96
Pacífico	42	58	48	11	159
Total	72	92	68	23	255

Nota: *Categorías según la escala de velocidad de vientos de Saffir-Simpson, donde H1: 119-153 km/h; H2: 154-177 km/h; H3: 178-208 km/h; H4: 209-251 km/h; y H5: >252 km/h. Fuente: SMN citado por CONAGUA, 2022.

Además de los ciclones tropicales, las sequías son también importantes fuentes de riesgo en México (véase figura 10). De acuerdo con la CONAGUA (2022), las sequías de los últimos años han causado pérdidas económicas de miles de millones de dólares, resaltando que de 2011 a 2013 el país se vio severamente afectado por una sequía que cubrió el 90% del territorio (véase figura 12).

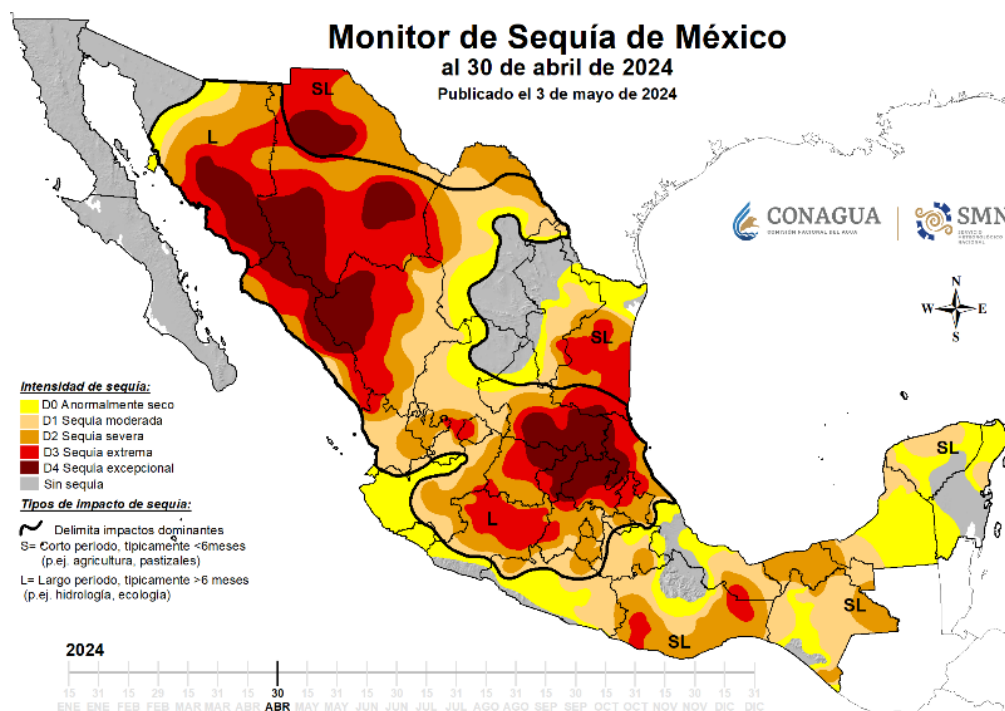


Figura 10. Monitor de sequía en México al 30 de abril de 2024.

Fuente: SMN-CONAGUA, 2024.

Con base en SMN-CONAGUA (2024), al 30 de abril de 2024 el 79.4% de los municipios en México (1,963 de 2,471) se reportó con sequía³ y 350 municipios se reportaron anormalmente secos (D0); 120 de estos en Oaxaca (34.3%) y 81 en Veracruz (23.1%). Solo 158 municipios (un 6.4% del total) fueron reportados sin afectación. Las entidades federativas con mayor grado de afectación (D1-D4) fueron Aguascalientes, Chihuahua, Ciudad de México, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Querétaro, Sinaloa y Tabasco. Solo Baja California y Baja California Sur no presentaron afectaciones por sequía (véase cuadro 2).

³ Desde el punto de vista del SMN-CONAGUA (2024), se considera sequía las categorías de sequía moderada (D1) a sequía excepcional (D4).

Cuadro 2. Porcentaje de área afectada por sequía según entidad federativa al 30 de abril de 2024.

Clave	Entidad federativa	SA	D0	D1	D2	D3	D4
1	Aguascalientes	0.0	0.0	41.3	21.9	36.8	0.0
2	Baja California	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Baja California Sur	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Campeche	0.0	70.5	24.5	5.0	0.0	0.0
5	Coahuila de Zaragoza	26.6	17.5	28.4	23.5	4.0	0.0
6	Colima	2.7	92.4	4.9	0.0	0.0	0.0
7	Chiapas	6.3	18.4	52.8	22.5	0.0	0.0
8	Chihuahua	0.0	0.0	1.3	25.3	41.7	31.7
9	Ciudad de México	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
10	Durango	0.0	1.4	23.1	19.1	33.1	23.3
11	Guanajuato	0.0	0.0	0.0	43.6	35.0	21.4
12	Guerrero	8.4	36.0	43.4	12.2	0.0	0.0
13	Hidalgo	0.0	0.0	1.2	12.0	26.9	59.9
14	Jalisco	0.0	35.3	29.0	34.3	1.4	0.0
15	Estado de México	0.0	0.0	22.3	56.0	18.5	3.2
16	Michoacán de Ocampo	10.1	9.5	7.2	27.4	45.8	0.0
17	Morelos	0.0	0.0	10.9	89.1	0.0	0.0
18	Nayarit	0.8	3.5	56.0	31.9	7.8	0.0
19	Nuevo León	39.1	21.4	30.1	6.9	2.5	0.0
20	Oaxaca	15.4	10.2	19.6	44.6	10.2	0.0
21	Puebla	1.8	13.7	46.9	26.9	10.7	0.0
22	Querétaro de Arteaga	0.0	0.0	0.0	0.8	24.2	75.0
23	Quintana Roo	49.5	43.2	7.3	0.0	0.0	0.0
24	San Luis Potosí	7.5	14.8	12.4	13.0	11.7	40.6
25	Sinaloa	0.0	0.0	4.5	21.1	39.7	34.7
26	Sonora	22.5	8.1	6.6	21.4	22.5	18.9
27	Tabasco	0.0	0.0	22.9	77.1	0.0	0.0
28	Tamaulipas	6.1	16.9	3.7	23.4	47.4	2.5
29	Tlaxcala	0.0	14.2	45.1	40.7	0.0	0.0
30	Veracruz	12.9	20.4	21.6	17.3	17.9	9.9
31	Yucatán	18.7	46.0	35.3	0.0	0.0	0.0
32	Zacatecas	21.2	22.5	46.8	7.2	2.3	0.0

Nota: SA - Sin afectación; D0 - Anormalmente seco; D1 - Sequía Moderada; D2 - Sequía Severa; D3 - Sequía Extrema; D4 - Sequía Excepcional. Fuente: SMN-CONAGUA, 2024.

Considerando los organismos de cuenca (RHA) del país, las mayores afectaciones por sequía (D1-D4) al 30 de abril de 2024 se reportan en la Pacífico Norte (100%), Aguas del Valle de México (100%), Golfo Norte (96.7%) y Balsas (86.8%) (véase cuadro 3). El dinamismo de los daños por sequía a nivel nacional a través del tiempo se puede apreciar en la figura 11.

Cuadro 3. Porcentaje de área afectada por sequía según región hidrológica administrativa (RHA) al 30 de abril de 2024.

Clave	RHA	SA	D0	D1	D2	D3	D4
I	Península de Baja California	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
II	Noroeste	19.9	6.9	6.0	21.9	25.0	20.3
III	Pacífico Norte	0.0	0.0	10.1	16.1	29.3	44.5
IV	Balsas	0.9	12.3	42.6	28.2	16.0	0.0
V	Pacífico Sur	6.4	22.5	21.7	42.2	7.2	0.0
VI	Río Bravo	15.3	9.5	14.8	25.0	24.5	10.9
VII	Cuencas Centrales del Norte	16.2	18.5	23.4	15.1	19.0	7.8
VIII	Lerma - Santiago - Pacífico	2.7	21.0	29.0	31.2	14.7	1.4
IX	Golfo Norte	0.8	2.5	5.0	14.4	38.3	39.0
X	Golfo Centro	21.5	18.9	18.2	25.9	13.6	1.9
XI	Frontera Sur	4.0	21.5	44.7	29.8	0.0	0.0
XII	Península de Yucatán	23.5	57.1	19.4	0.0	0.0	0.0
XIII	Aguas del Valle de México	0.0	0.0	9.7	57.7	16.5	16.1

Nota: SA - Sin afectación; D0 - Anormalmente seco; D1 - Sequía Moderada; D2 - Sequía Severa; D3 - Sequía Extrema; D4 - Sequía Excepcional. Fuente: SMN-CONAGUA, 2024.

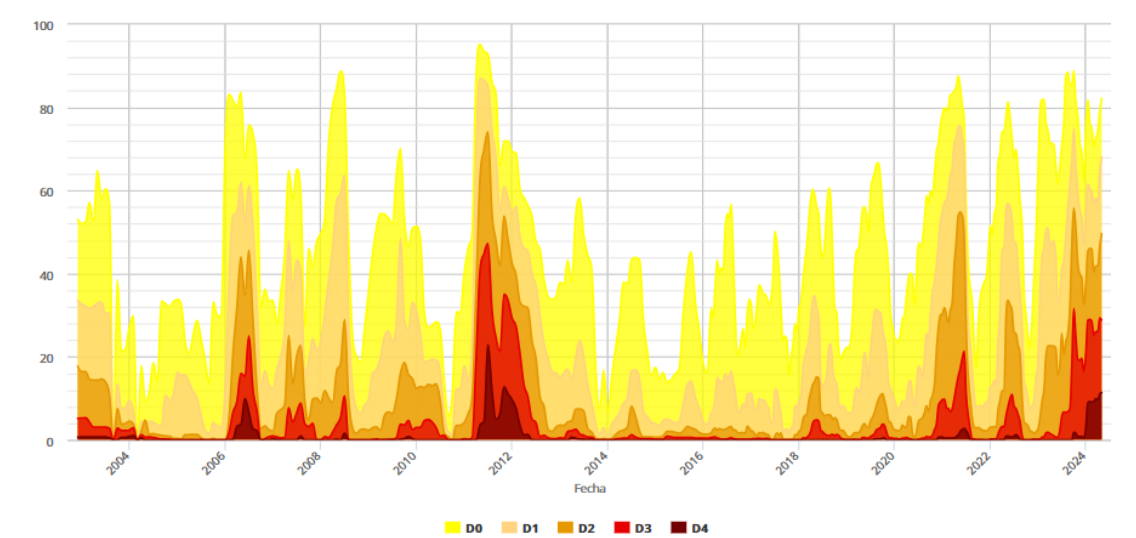


Figura 11. Evolución del porcentaje de área afectada por sequía en México.
Fuente: SMN-CONAGUA, 2024.

Plagas y enfermedades

A las pérdidas de producción agrícola ocasionadas por eventos climáticos, se suman las generadas por plagas y enfermedades. De acuerdo con valoraciones de la FAO, según indica la ONU (2021), anualmente las plagas destruyen hasta un 40% de la producción agrícola mundial, mientras que las pérdidas anuales por concepto de enfermedades superan el valor de 220 mil millones de dólares. Seguramente estos números seguirán una tendencia creciente en los próximos años por los efectos adversos del cambio climático, que favorecen la distribución espacial y temporal de plagas cada vez más peligrosas.

Degradación de los suelos

El crecimiento económico y demográfico, la urbanización y la intensificación de la agricultura han venido acompañados de un incremento significativo en la degradación de la tierra (FAO, 2021); que consiste principalmente en la erosión del suelo, pérdida de nutrientes, reducción de la biodiversidad (macro y microorganismos) y contenidos de materia orgánica, disminución de la capacidad de retención o infiltración de agua y el aumento de los niveles de salinidad; sobre todo por factores como la excesiva perturbación mecánica del suelo y la desmedida pérdida de su vegetación (Asociación Española de Agricultura de Conservación, 2008). Acerca de esto, la FAO (2021) comenta que en los últimos 30 años (1990-2020) se observó una pérdida neta promedio de cubierta vegetal de 5.9 millones de hectáreas por año y señala también el agravamiento del estado biofísico de 5,670 millones de hectáreas. Además, resalta que prácticamente un tercio de los suelos del mundo sufren una degradación de carácter moderada a severa (véase figura 12).

Respecto a la agricultura, la FAO (2021) reconoce que el 34% de la superficie agrícola mundial (1,660 millones de hectáreas) está siendo afectada por la degradación antropogénica de la tierra; de la cual el 51.2% (850 millones de hectáreas) se considera en estado grave de degradación. Adicionalmente, dicha organización advierte que cerca del 33% de la superficie agrícola de temporal y casi el 50% de la superficie agrícola de riego presentan riesgo de degradación.

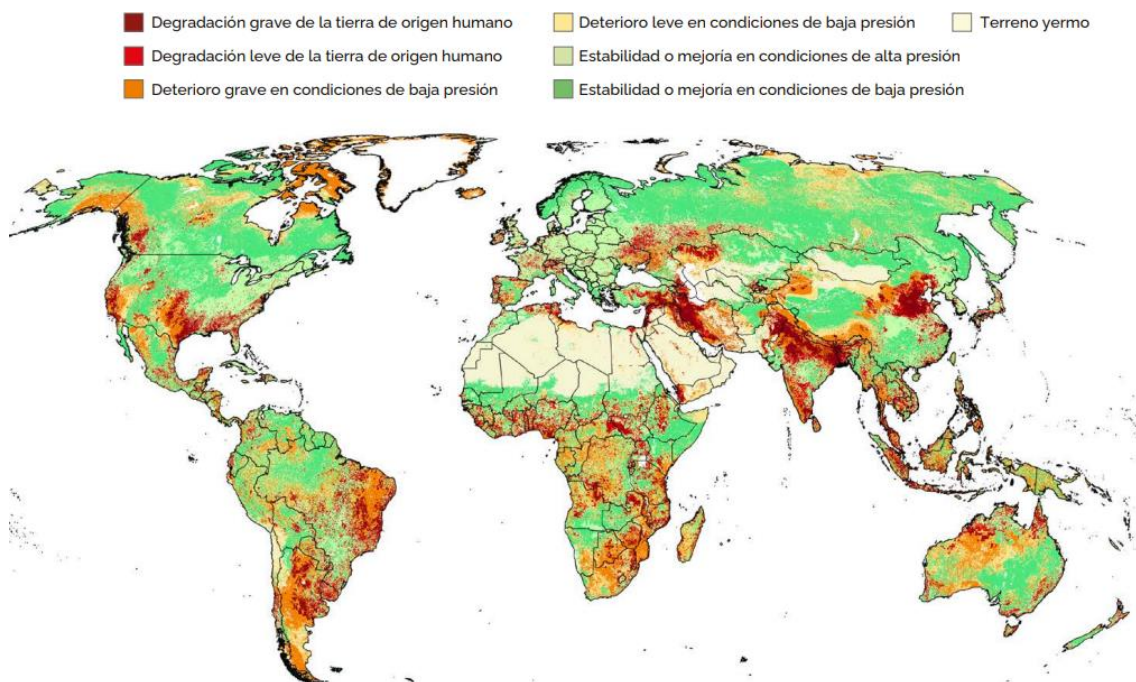


Figura 12. Tipos de la degradación de la tierra según la gravedad de las presiones ejercidas por el hombre y las tendencias de deterioro (2015).

Nota: La degradación de origen humano hace referencia a una tendencia negativa provocada por la actividad humana, mientras que el deterioro se refiere a una tendencia desfavorable ocasionada por fenómenos naturales o por la acción del hombre donde el estado es malo. Fuente: Coppus y FAO, 2021.

Diversas fuentes coinciden en que la degradación de los suelos debido a la erosión⁴ hídrica y eólica es posiblemente el principal problema medioambiental que enfrenta la agricultura hoy en día. La FAO (2021) argumenta que a nivel mundial se pierden anualmente entre 20,000 y 37,000 millones de toneladas de suelo a causa de la erosión. Por su parte, la Asociación Española de Agricultura de Conservación (2008) señala que en Europa la pérdida anual promedio de suelo debido a este fenómeno asciende a 17 toneladas por hectárea, afectando alrededor del 16% de su superficie (157 millones de hectáreas). De igual forma, dicha entidad advierte que casi el 50% del área agrícola mediterránea tiene un riesgo moderado a alto de erosión.

⁴ La erosión del suelo tiene importantes implicaciones sobre el rendimiento de los cultivos, ya que reduce la capacidad de almacenamiento de agua, carbono y nutrientes del suelo. Se estima que las pérdidas anuales de producción de cereales por concepto de erosión alcanzan los 7.6 millones de toneladas (FAO, 2021).

En México, según indica la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Colegio de Postgraduados (COLPOS) (2003), el 45.2% del territorio presenta algún tipo de degradación antropogénica; destacando la degradación química (principalmente por la pérdida de fertilidad), la erosión hídrica y la erosión eólica como responsables del 87% de la superficie degradada (véase figura 13). De acuerdo con dichas instituciones, el nivel de degradación predominante en el país es de categoría ligera a moderada. Asimismo, Trinidad-Santos y Velasco-Velasco (2016) señalan que los suelos agrícolas en México son generalmente pobres en materia orgánica (mejorador fundamental de la fertilidad del suelo), con valores menores a 1%.

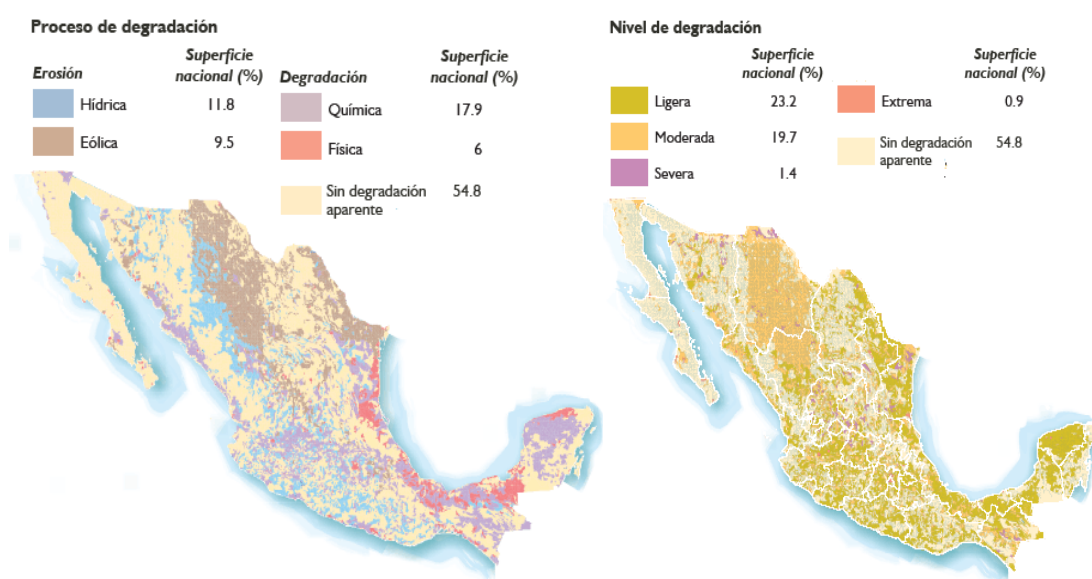


Figura 13. Principales procesos y niveles de degradación de los suelos en México (2002).

Fuente: SEMARNAT-COLPOS, 2003.

Por otro lado, la contaminación de los suelos por sales es otro de los grandes desafíos a los que hace frente la agricultura hoy en día. Según la FAO (2020), a nivel mundial 1,000 millones de hectáreas (distribuidas en más de 100 países) tienen problemas de salinidad; y se calcula que anualmente dejan de cultivarse entre 0.3 y 1.5 millones de hectáreas a causa de este fenómeno (FAO, 2021). La salinidad, sodicidad y desertificación, en conjunto, ocasionan que cada año dejen de destinarse a la agricultura cerca de 10 millones de hectáreas (USDA, 2021).

En el caso de México, se estima que existen aproximadamente 1.1 millones de hectáreas afectadas por salinidad y drenaje inapropiado a diferentes grados (SEMARNAT, 2008). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2021), los suelos con problemas de salinidad tienen mayor riesgo de erosión y provocan reducciones en los rendimientos de los cultivos hasta en un 50%.

Déficit hídrico y escasez de agua

En lo que respecta a la disponibilidad del recurso hídrico, la situación es cada vez más alarmante. En América Latina, según indica la FAO (2020), la disponibilidad de agua per cápita disminuyó en un 22% en los últimos 20 años (1997-2017) a causa del crecimiento demográfico y desarrollo socioeconómico. Además, el escenario es particularmente grave en *África subsahariana* y *África septentrional* y *Asia occidental*, donde los recursos totales anuales de agua renovable⁵ per cápita se redujeron un 41% y 32%, respectivamente (véase figura 14).

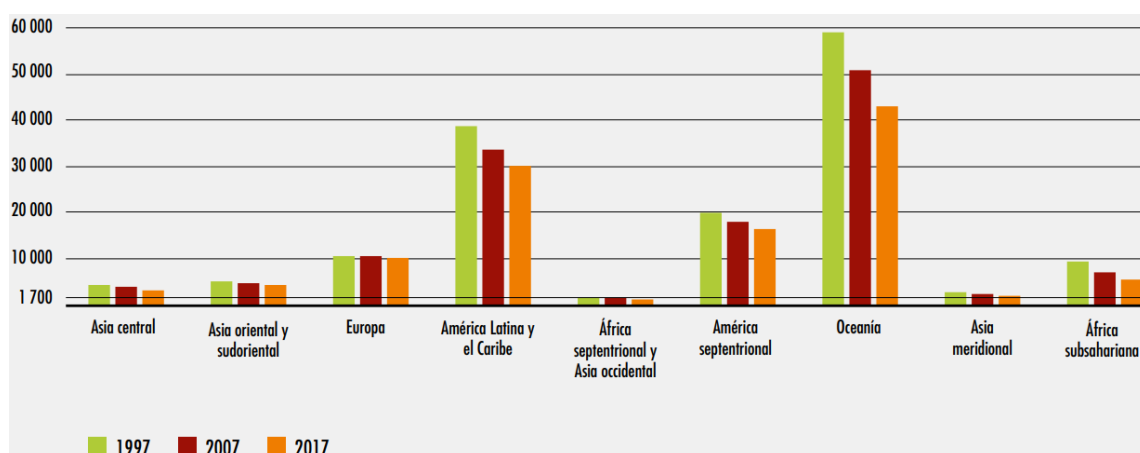


Figura 14. Recursos de agua dulce renovables per cápita (m³/año) desglosados por región (1997-2017).

Fuente: FAO, 2020.

⁵ Se refiere a la cantidad de agua máxima que es factible explotar anualmente en una región, es decir, la cantidad de agua que es renovada por la precipitación y el agua proveniente de otras regiones o países (Gleick, 2002).

En México, la CONAGUA (2022) estima un valor de agua renovable per cápita de 3,663 m³/habitante/año. Sin embargo, en algunas regiones hidrológico administrativas (RHA) como en la VIII Lerma-Santiago-Pacífico y I Península de Baja California la disponibilidad del recurso es preocupante⁶ (<1,700 m³); en la VI Río Bravo y VII Cuencas Centrales del Norte la situación de escasez es crónica (<1,000 m³); y en la XIII Aguas del Valle de México es extrema, con un valor inferior a los 500 m³/habitante/año (véase cuadro 4).

Cuadro 4. Agua renovable per cápita en México, 2020.

No. de RHA	RHA	Agua renovable (hm ³ /año)	Población (mill. hab.)	Agua renovable per cápita (m ³ /hab/año)
I	Península de Baja California	4,960	4.77	1,040
II	Noroeste	8,275	2.83	2,924
III	Pacífico Norte	26,630	4.56	5,840
IV	Balsas	23,446	12.24	1,916
V	Pacífico Sur	31,310	5.17	6,056
VI	Río Bravo	13,045	13.30	981
VII	Cuencas Centrales del Norte	4,667	4.76	980
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	35,247	25.65	1,374
IX	Golfo Norte	28,695	5.20	5,518
X	Golfo Centro	95,022	10.65	8,922
XI	Frontera Sur	158,021	7.97	19,827
XII	Península de Yucatán	28,878	5.11	5,651
XIII	Aguas del Valle de México	3,444	23.82	145
Total		461,640	126.03	3,663

Nota: hm³ = hectómetro cúbico (1,000,000 de m³). Fuente: CONAGUA, 2022.

En el contexto agrícola, la FAO (2021) manifiesta que 1,200 millones de habitantes en zonas agrícolas (aproximadamente una sexta parte de la población mundial) enfrentan niveles altos a muy altos de déficit hídrico (regímenes de precipitación por debajo de lo normal) o de escasez de agua (desequilibrio entre la demanda y disponibilidad de agua dulce), englobando una superficie agrícola

⁶ Como señala Falkenmark y Widstrand (1992), una región se ve comprometida para satisfacer la demanda hídrica cuando la disponibilidad per cápita es inferior a 1,700 m³; la situación de escasez es crónica cuando el valor es menor a 1,000 m³; y extrema cuando baja de los 500 m³.

total de 300 millones de hectáreas (el 20% de la superficie agrícola mundial); de las cuales 128 millones son de temporal (el 11% de la superficie total de temporal) y 171 millones son de riego (el 62% de la superficie total de riego).

Por su parte, el indicador 6.4.2 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)⁷ referente al estrés hídrico mundial aumentó del 17% al 18% de 2000 a 2018, respectivamente (FAO, 2021). Asia oriental y Asia occidental presentan niveles de estrés hídrico de grado bajo a medio (45%-70%); Asia central y meridional de carácter alto (>70%); y África septentrional se reporta en condición crítica (>100%). Particularmente, la situación de estrés hídrico es angustiante en el norte de México y suroeste de Estados Unidos (véase figura 15). De acuerdo con la FAO (2021), el estrés hídrico alto es común en las cuencas donde la agricultura de riego es intensa y las ciudades están altamente pobladas.

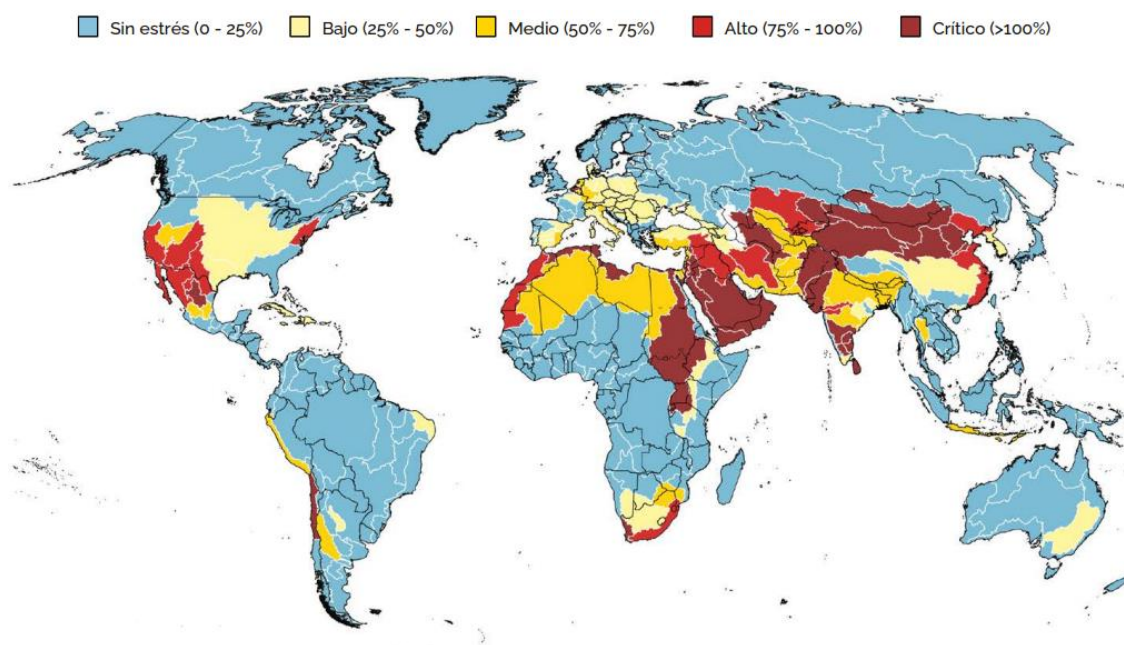


Figura 15. Nivel de estrés hídrico de todos los sectores por cuenca principal según el indicador 6.4.2 de los ODS (2018).

Fuente: FAO, 2021.

⁷ El indicador 6.4.2 de los ODS cuantifica el nivel de estrés hídrico y se define como la razón entre el total de agua dulce extraída por los principales sectores (agrícola, industrial y municipal [abastecimiento público]) y el total de recursos de agua dulce renovables, después de haber considerado las necesidades de caudal ecológico (FAO, 2021).

Evidentemente el aumento en la escasez de agua y la ascendente competencia por este recurso (véase figura 16) elevan los niveles de riesgo hídrico y constituyen serias limitaciones en los ecosistemas relacionados con el mismo, como es el caso de la agricultura de riego, que utiliza alrededor del 72% de las extracciones totales de agua dulce (FAO, 2020).

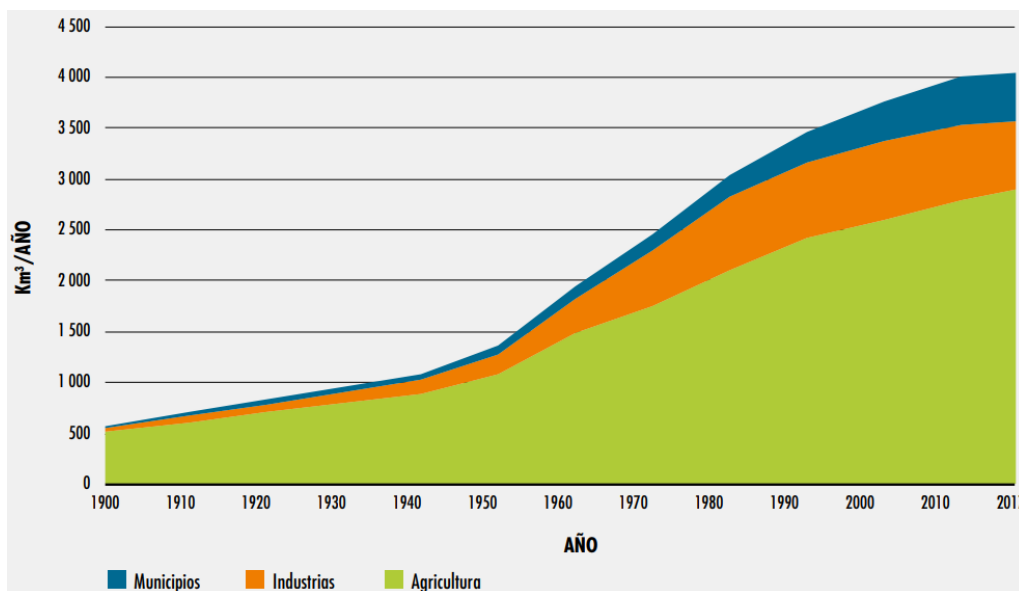


Figura 16. Extracciones mundiales de agua por sectores (1990-2017).

Fuente: FAO, 2020.

En México, el sector agrícola emplea el 75.7% del recurso hídrico extraído, del cual en promedio el 36.9% es de origen subterráneo y el 63.1% de origen superficial (CONAGUA, 2022). No obstante, la disponibilidad de las fuentes superficiales y subterráneas de agua en el país está disminuyendo considerablemente (véase figura 17). De acuerdo con CONAGUA (2022), a diciembre de 2020 se reportaron 104 cuencas hidrológicas y 275 acuíferos sin disponibilidad (el 13.7% y 42.1% del total⁸, respectivamente). Además, para ese mismo año se señalaron 111 acuíferos sobreexplotados⁹, 18 con intrusión marina y 32 bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres.

⁸ Para fines de administración del agua superficial y subterránea, en el país se establecieron 757 cuencas hidrológicas y 653 acuíferos (CONAGUA, 2022).

⁹ Un acuífero se considera sobreexplotado cuando la relación extracción/recarga es mayor a 1.1 (CONAGUA, 2022).

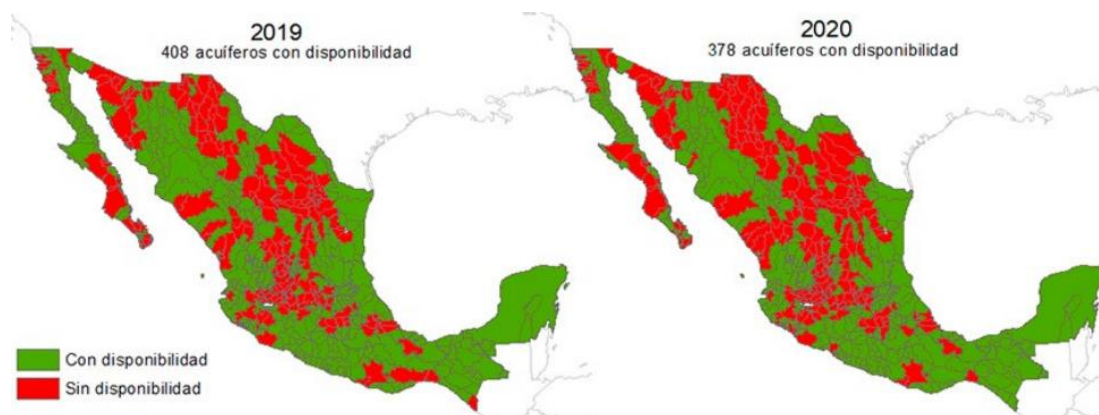


Figura 17. Acuíferos con disponibilidad (2019 y 2020).

Nota: La disponibilidad de agua se refiere a la posibilidad de extraer un volumen medio anual de una unidad hidrogeológica (cuenca o acuífero) adicional al que ya ha sido concesionado y al comprometido como caudal ecológico, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas. Fuente: CONAGUA, 2022.

2.2.2 Riesgos de mercado

Se refieren a aquellos factores asociados al mercado (de carácter impredecibles) que afectan negativamente los ingresos y la rentabilidad de la actividad agrícola. Por ejemplo, la alta volatilidad de los precios de venta de los productos agrícolas (derivada generalmente de los efectos climáticos, biológicos o ambientales en la producción), las fluctuaciones en los costos de los insumos y la dificultad para acceder al mercado (Garrido y Bardají, 2009; Harvey et al., 2014).

Algunos autores como Komarek et al. (2020); Imas et al. (2020); y Hardaker et al. (2015) indican que el acceso asimétrico a la información, la intermediación en el proceso de comercialización¹⁰, las variaciones en el tipo de cambio (riesgo cambiario) y el dinamismo del comercio internacional pueden representar también importantes fuentes de riesgo de precio o de mercado para los agricultores que exportan sus productos o utilizan insumos importados.

¹⁰ Imas et al. (2020) argumentan que los pequeños agricultores generalmente son tomadores de precios (tienen poca o nula incidencia sobre estos) y estiman que “del precio final al consumidor de los productos agrícolas, los productores reciben solo entre el 5% y el 25% de dicho valor”.

En la actualidad, México tiene una importante participación en el mercado agroalimentario internacional. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2024), el país tiene una red de 14 Tratados de Libre Comercio con más de 50 países y en el 2023 destacó como el 9° exportador de productos agroalimentarios, siendo históricamente Estados Unidos su principal socio comercial¹¹. Asimismo, la mayoría de los insumos agrícolas y pecuarios utilizados en México (maquinaria, sistemas de riego, fertilizantes, semillas, pesticidas, combustible, etc.) provienen de dicho país. Por tal motivo, la solidez económica del sector agropecuario mexicano y de sus productores depende desproporcionalmente del comportamiento de la economía estadounidense.

En las figuras 18 a 21 se muestran gráficamente las fluctuaciones del precio de algunos productos agrícolas en Estados Unidos (gráficos de la izquierda) y México (gráficos de la derecha).

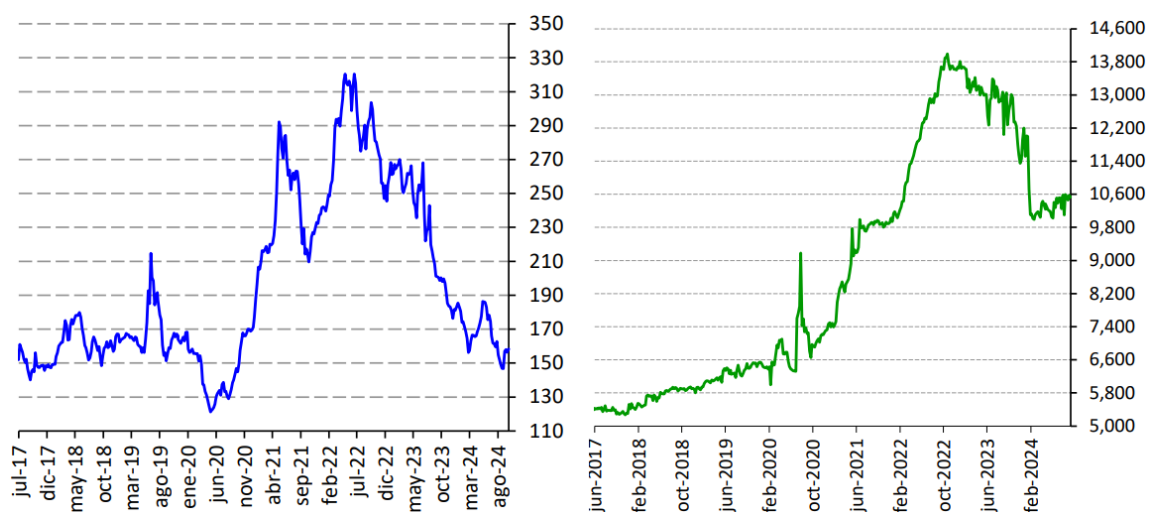


Figura 18. Precios del maíz blanco en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).

Nota: * Precio promedio en centrales de abasto (PPCA). Fuente: CME-Group y SNIIM-SE, respectivamente, citados por FIRA, 2024a.

¹¹ En el 2023 el valor de las exportaciones agroalimentarias de México a Estados Unidos fue de \$42,196 millones de dólares; aproximadamente el 80% del valor total exportado (SIAP, 2024).

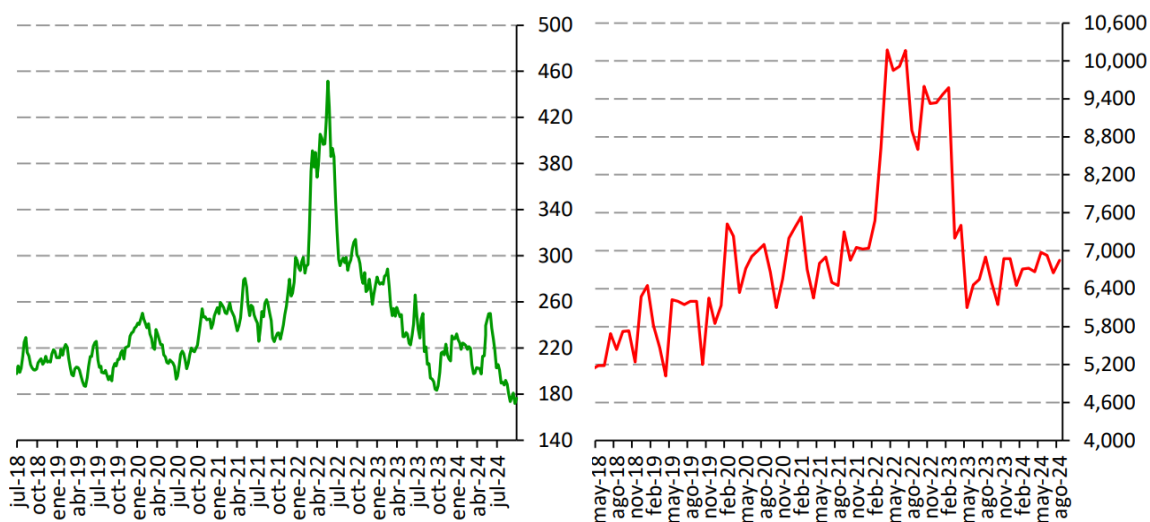


Figura 19. Precios del trigo en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).

Nota: * Precio promedio en centros de distribución (PPCD). Fuente: CME-Group y SNIIM-SE, respectivamente, citados por FIRA, 2024a.

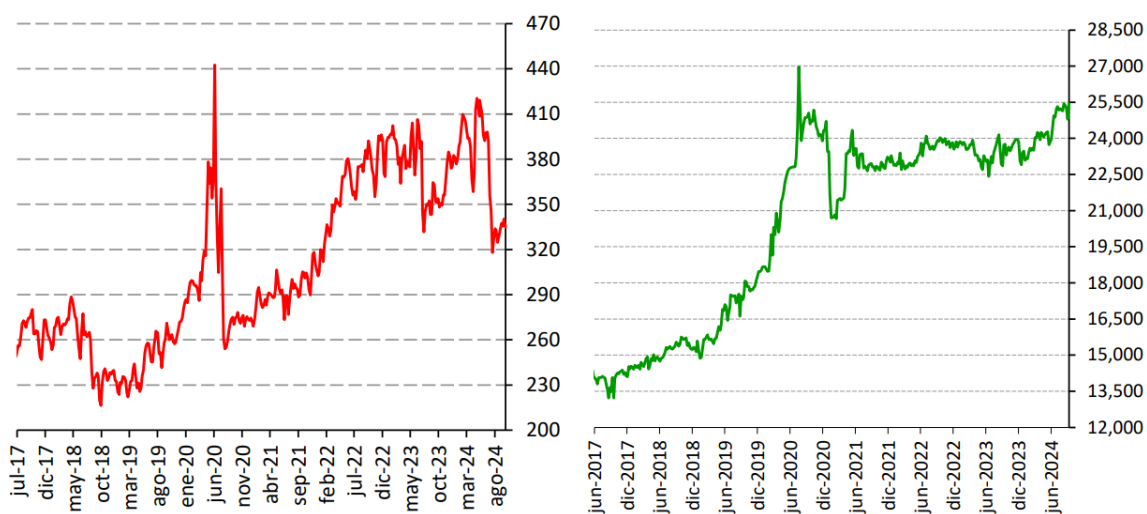


Figura 20. Precios del arroz en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).

Nota: * PPCA. Fuente: CME-Group y SNIIM-SE, respectivamente, citados por FIRA, 2024a.

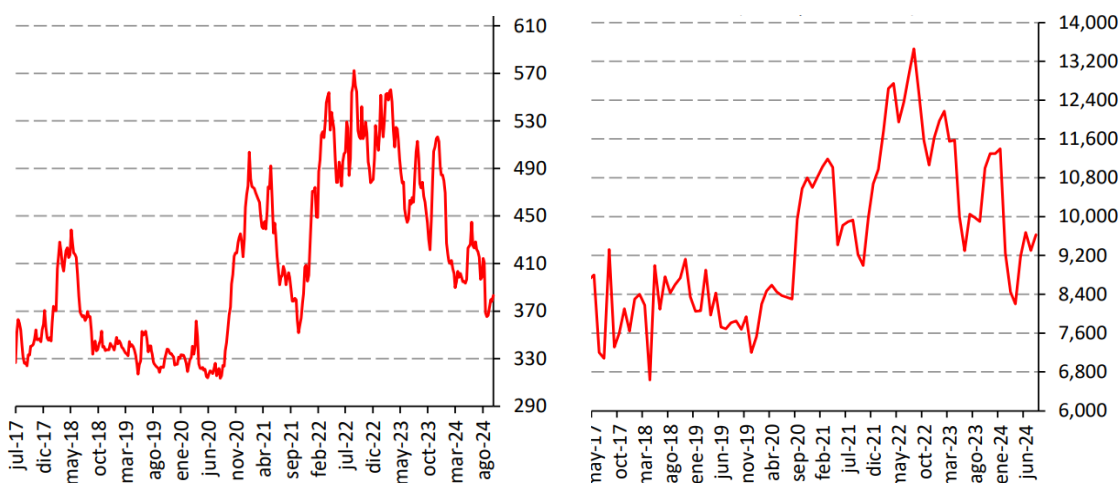


Figura 21. Precios de la pasta de soya en Estados Unidos (dólares/ton) y México* (pesos/ton).

Nota: * PPCD. Fuente: CME-Group y SNIIM-SE, respectivamente, citados por FIRA, 2024a.

Análogamente, en la figuras 22 y 23 se presenta, de forma respectiva, la trayectoria de los precios nacionales de algunos fertilizantes de uso agrícola y el movimiento de los precios de tres tipos de petróleo¹².

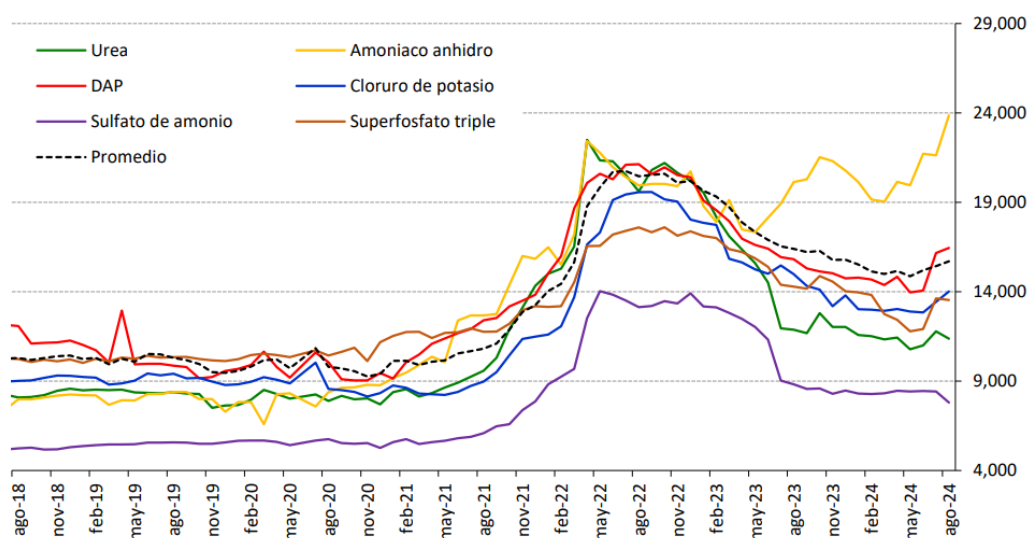


Figura 22. Precios nacionales de algunos fertilizantes agrícolas (pesos/ton).

Fuente: FIRA, 2024b con información de SNIIM-SE.

¹² Los tractores, cosechadoras, fumigadoras, equipos de bombeo y otras herramientas agrícolas utilizan combustibles derivados del petróleo (gasolina y diésel) como fuente de energía. Además, el petróleo es una materia prima esencial para la fabricación de fertilizantes químicos, plaguicidas, tuberías y otros componentes, por lo tanto, las variaciones en su precio pueden afectar la rentabilidad de los agricultores.

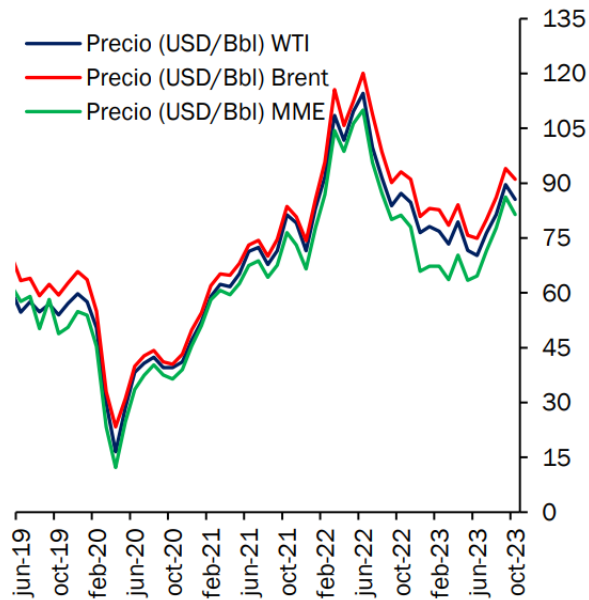


Figura 23. Precio promedio del petróleo (dólares/barril), 2019-2023.

Nota: WTI = petróleo West Texas Intermediate; MME = Mezcla Mexicana de Exportación. Fuente: Banco Mundial y Banco de México, citados por FIRA, 2023.

El dinamismo del tipo de cambio peso/dólar se puede apreciar en la serie mostrada en la figura 24.



Figura 24. Serie de tiempo sobre tipo de cambio FIX (11/oct/2020-19/oct/2022).

Fuente: Banco de México, portal de mercado cambiario.
<https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=sp>

2.2.3 Riesgos institucionales

Los riesgos institucionales están relacionados con cambios imprevisibles en las políticas o regulaciones por parte de instituciones formales o informales (gobierno, socios comerciales, grupos de productores rurales, etc.) que afectan a la agricultura (Komarek et al., 2020). Por ejemplo, la decisión de un país de limitar la exportación o importación de ciertos productos agrícolas (a través de impuestos o aranceles), el incumplimiento de un acuerdo comercial (riesgo contractual), la prohibición del uso de ciertos agroquímicos, restricciones en las prácticas de conservación o el uso de la tierra, cambios en la política de crédito, la falta de transparencia o la corrupción en la distribución de recursos y subsidios para el sector, entre otros (Harwood et al., 1999; Hardaker et al., 2015).

2.2.4 Riesgos humanos, personales o sociales

Son factores de carácter humano, personal o social que afectan la operación, rentabilidad y sostenibilidad de la actividad agrícola. Algunos ejemplos incluyen: lesiones, problemas de salud o la muerte a causa del uso de maquinaria pesada (u otras herramientas), la aplicación de productos químicos peligrosos (pesticidas y fertilizantes, principalmente) o la picadura de algún animal venenoso (serpientes, alacranes, etc.); la apropiación de tierras; la inseguridad o violencia en la zona¹³; robo o daño de activos (maquinaria, equipo, instalaciones y plantaciones); escasez de mano de obra; pandemias; entre otros (Harwood, 1999; Lopes Soares y Firpo de Souza Porto, 2009; Hardaker et al., 2015).

Desde el punto de vista de Komarek et al. (2020), muchas de estas variables pueden representar un gran obstáculo para la productividad, rentabilidad y competitividad de los agricultores.

¹³ En algunas regiones de México es común que los grupos delictivos soliciten a los agricultores aportaciones económicas o una proporción de la producción agrícola. En caso de no ceder, corren el riesgo de ser despojados de sus tierras o inclusive de ser asesinados.

2.2.5 Riesgos financieros

Todos los tipos de riesgos y factores referidos con anterioridad contribuyen al riesgo financiero de la unidad de producción agrícola, el cual consiste en la posibilidad de que la inversión realizada no aporte el retorno esperado o incluso genere pérdidas (Harwood, 1999). El riesgo financiero a su vez está fuertemente ligado al riesgo de liquidez (falta de flujo de efectivo) y al riesgo de crédito, es decir, a la probabilidad de incumplir el pago de algún financiamiento adquirido para la operación del negocio. Otra fuente importante de riesgo financiero son los cambios inesperados en la tasa de interés (costo del financiamiento) o en la disponibilidad y condiciones de crédito (Hardaker et al., 2015). |

En la serie de tiempo presentada en la figura 25 se pueden observar las fluctuaciones de la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) de fondeo a 182 días (6 meses) en México.



Figura 25. Serie de tiempo sobre la TIIE de fondeo a 182 días en México (porcentaje anual), 07/abr/2011-07/oct/2024.

Fuente: Banco de México, portal de tasas y precios de referencia.
<https://www.banxico.org.mx/SielInternet/>

Conjuntamente, los diversos factores y tipos de riesgos descritos en esta sección representan un entorno de mucha vulnerabilidad e incertidumbre para la inversión agropecuaria. En México, según el Censo Agropecuario 2022 del INEGI (2023), los principales problemas que enfrentan las unidades de producción (UP) del sector agropecuario¹⁴ para la realización de sus actividades son: altos costos de insumos y servicios (88.8%)¹⁵, pérdidas de producción por factores climáticos o biológicos (61.0%), precios bajos o reducción de ventas a causa de la pandemia del COVID-19 (40.2%), pérdida de fertilidad del suelo (29.9%), inseguridad o delincuencia (22.8%), dificultades para la transportación o comercialización de sus productos (21.8%), escasez de mano de obra (17.6%), edad avanzada o problemas de salud del productor(a) (16.5%), entre otros.

Este contexto se traduce ciertamente en costos elevados del financiamiento en el sector y seguramente en una gran limitante para su desarrollo. De ahí que los gobiernos se vean en la constante necesidad de intervenir a través de programas, políticas y subsidios.

2.3 Diversificación en la agricultura

De acuerdo con Mithiya et al. (2018), la diversificación en la agricultura puede efectuarse en dos direcciones o niveles distintos:

- **Diversificación vertical o de agronegocios.** Tiene lugar cuando los agricultores agregan valor comercial a sus productos mediante el procesamiento y la transformación (agroindustria), la creación de marcas regionales, el envasado y empaque, la comercialización u otros esfuerzos (Barman et al., 2022; Paroda, 2022) o una vez que desarrollan actividades complementarias relacionadas con la agricultura; como la ganadería, avicultura, apicultura, piscicultura o silvicultura (Vyas 1996; Paroda, 2022).

¹⁴ En el 2022 se registró un total de 4,629,134 UP agropecuaria activas en el país, las cuales integran en conjunto una superficie agrícola de 25,703,081 hectáreas (INEGI, 2023).

¹⁵ Representa la proporción de UP agropecuaria que reportó la afectación de dicha circunstancia.

Según Barman et al. (2022), la diversificación vertical de cultivos representa el grado y nivel de industrialización de la producción agrícola. En la siguiente figura se muestra de manera esquemática este tipo de diversificación:

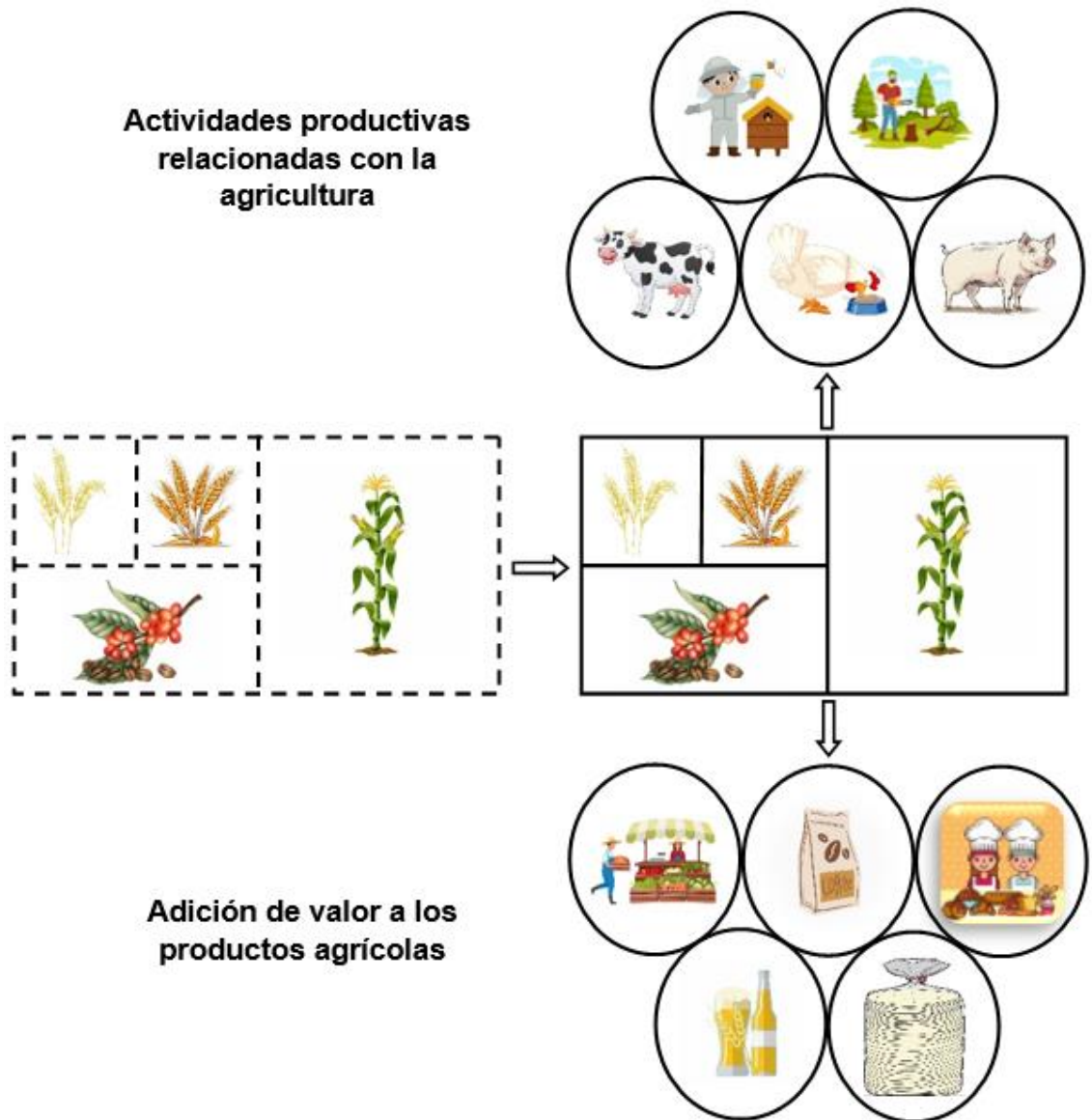


Figura 26. Diversificación vertical en la agricultura.

Fuente: Propia.

- **Diversificación horizontal o de cultivos múltiples.** Este tipo de diversificación se realiza a través de dos enfoques principales: la sustitución o intensificación de cultivos (Barman et al., 2022).

a) **Sustitución de cultivos.** Implica reemplazar cualquier cultivo o sistema (patrón) de cultivos por otro (por ejemplo, cambiar de maíz a frijol o de algunos frutales a hortalizas, especias, etc.), sin alterar el número de cultivos (diversificación temporal) y quizás modificando las proporciones de superficie bajo cada cultivo en favor de una distribución más homogénea de estos (diversificación espacial) (Vyas, 1996; Barman et al., 2022). Por ejemplo, si una superficie agrícola de 10 ha conformada por 8 ha de piña (80%) y 2 ha de limón (20%) se cambia por otro patrón de dos cultivos distintos (por decir, maíz y plátano) que contemple 5 ha (50%) para cada uno, entonces se habrán modificado las proporciones de superficie cultivada y el nuevo sistema estará más diversificado que el anterior (véase figura 27).

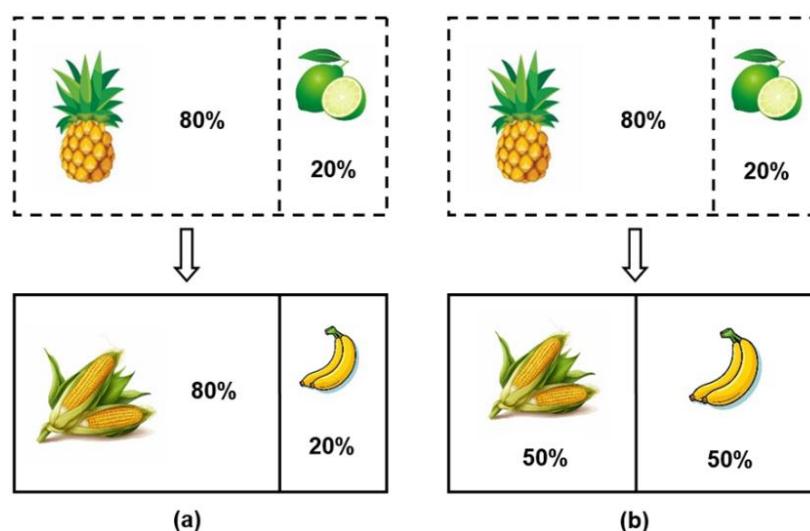


Figura 27. Ejemplo de diversificación temporal (a) y espacial (b) a través de la sustitución de cultivos.

Fuente: Propia.

La sustitución de cultivos no implica necesariamente que los cultivos existentes se tengan que cambiar por cultivos nuevos, ya que la diversificación de la unidad de producción agrícola se puede alcanzar simplemente cambiando las proporciones de los cultivos que ya se tienen incluidos en el portafolio agrícola, es decir, internamente unos cultivos se sustituyen por otros (véase figura 28).

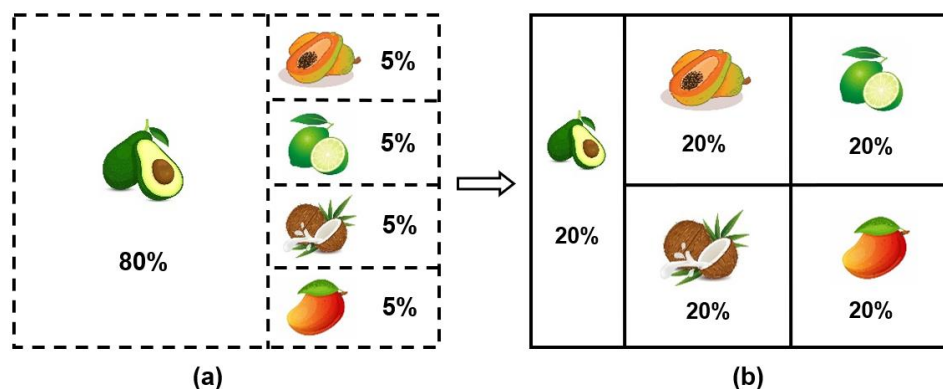


Figura 28. Diversificación de un portafolio agrícola mediante la sustitución interna de cultivos.

Fuente: Propia.

A pesar de que el portafolio (a) tiene el mismo número y especies de cultivos que el portafolio (b), este último está más diversificado o menos concentrado que el primero.

- b) **Intensificación de cultivos.** Involucra la introducción de uno o varios cultivos adicionales al cultivo principal o sistema agrícola actual (Vyas, 1996; Hitayezu et al. 2016; Nayak y Kumar, 2019; Barman et al., 2022). Este enfoque generalmente propicia disminuciones en las proporciones de superficie sembrada de cada cultivo (véase figura 29a). Aunque se puede dar el caso en el que, por ejemplo, al incluir un cultivo complementario al portafolio agrícola se le dedique una proporción de algún cultivo existente y los demás cultivos queden con las mismas participaciones que ya tenían (véase figura 29b). Cuando se aumenta la superficie cultivada total con el fin de incluir nuevos cultivos, la proporción de superficie bajo cada cultivo también cambia (disminuye).

La presente investigación se enfoca en el análisis de la diversificación de cultivos de carácter horizontal o de cultivos múltiples, que puede incluir cualquiera de los casos expuestos anteriormente (sustitución o intensificación de cultivos).

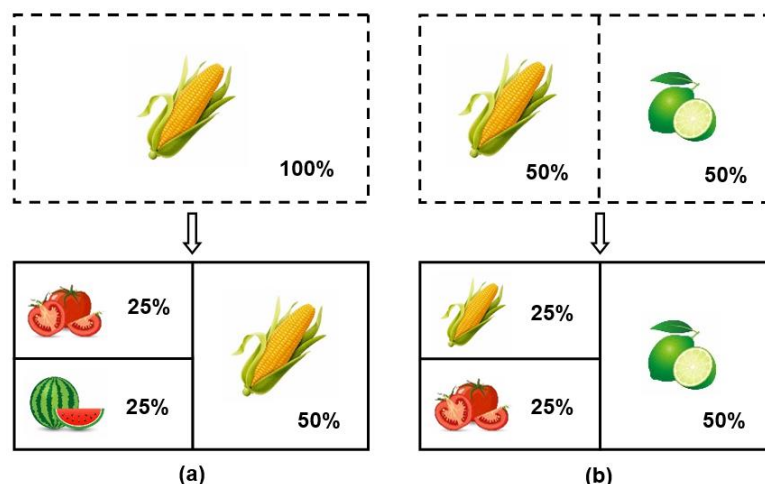


Figura 29. Ejemplos de diversificación de portafolios agrícolas mediante la intensificación de cultivos.

Fuente: Propia.

2.3.1 Concepto de diversificación de cultivos

La diversificación de cultivos (DC) no tiene una definición única, pues se percibe de distintas maneras según el enfoque del que se trate. Es decir, es un concepto dinámico impulsado por la demanda y la necesidad en situaciones específicas, que incorpora técnicas espaciales, temporales, de valor añadido y complementarias de recursos, así como un alejamiento de los cultivos tradicionales y menos beneficiosos (Singh et al., 2018; Barman et al., 2022).

Algunas percepciones comunes de la diversificación de cultivos son:

- La combinación de diferentes sistemas de cultivos con otras actividades productivas relacionadas con la agricultura (Gangwar et al., 2010);
- La adición de valor a los productos agrícolas a través de la agroindustria o la comercialización (Singh et al., 2018; Dalal y Shankar, 2022);
- El cambio de un cultivo o sistema de cultivos tradicional menos rentable (de bajo valor) o poco sostenible a otro cultivo o sistema de cultivos más rentable (de alto valor) o de superior sostenibilidad (Khanam et al., 2018; Mithiya et al., 2018; Feliciano, 2019; Barman et al., 2022; Dalal y Shankar, 2022);

- Cultivar los mismos o nuevos cultivos de manera distinta a la anterior (Singh, 2000; Preety y Sihmar, 2023); y
- La transición de la dominancia espacial o temporal de una sola especie de cultivo a la producción de una gran variedad de cultivos (Makate et al. 2016; Mango et al., 2018; Barman et al., 2022; Paroda, 2022).

Para fines de este estudio, se considera que un portafolio agrícola está altamente diversificado cuando posee un gran número de cultivos con pequeñas proporciones de superficie sembrada para cada uno.

2.3.2 Medición de la diversificación de cultivos

En la literatura existente, la diversificación de cultivos es medida usualmente a través del índice de Herfindahl (IH) o del índice de Simpson (IS). A continuación se da una descripción breve de cada uno de ellos, con una interpretación acorde al enfoque específico mencionado anteriormente.

Índice de Herfindahl

Matemáticamente, el índice de Herfindahl (IH) se define como la suma de las proporciones de superficie sembrada al cuadrado (p_i^2) de los cultivos ($i = 1, 2, \dots, n$) que integran el portafolio agrícola (Mukherjee, 2012):

$$IH = \sum_{i=1}^n p_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{S_T} \right)^2 \quad (1)$$

Donde S_i es la superficie bajo cada cultivo y S_T es la superficie total cultivada ($\sum_{i=1}^n S_i$). Por supuesto que $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

El índice de Herfindahl toma valores entre cero y uno ($0 < IH \leq 1$). Un valor cercano a cero ($IH \rightarrow 0$) indica un nivel relativamente alto de diversificación (es decir, el portafolio está conformado por un gran número de cultivos [$i \rightarrow \infty$]), mientras que un valor próximo a la unidad ($IH \rightarrow 1$) implica un nivel relativamente bajo de diversificación (o sea, el portafolio se concentra en pocos cultivos [$i \rightarrow 1$]). La unidad ($IH = 1$) significa evidentemente una especialización perfecta (un solo cultivo en el portafolio) (Malaisamy, 2021; Kaur et al., 2021).

Índice de Simpson

El índice de Simpson (IS) se calcula restando el IH (ecuación 1) de la unidad (Kaur et al., 2021):

$$IS = 1 - IH = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (2)$$

Su valor oscila también entre cero y uno ($0 < IS \leq 1$), pero su interpretación es en el sentido opuesto a la del índice de Herfindahl. Esto es, cero denota que los agricultores se especializan en un cultivo (no hay diversificación), en tanto que uno supone que están completamente diversificados y cultivan un número infinito de cultivos (diversificación perfecta) (Mango et al., 2018; Ochieng et al., 2020).

2.3.3 Beneficios de la diversificación de cultivos

Dentro de los diversos impactos positivos de tipo agronómicos, ambientales, económicos y sociales que ofrece la diversificación de cultivos a través de sus distintos enfoques o técnicas (rotación, asociación, cultivos intercalados, cultivos de cobertura, cultivos múltiples, agroforestería, etc.) se encuentran:

- 1) Mejora la disponibilidad de alimentos y la nutrición (Lin, 2011; Makate et al. 2016; Renard y Tilman, 2019; Garland et al., 2021; Barman et al., 2022; Vernooy, 2022; Ralte y Priscilla, 2023);
- 2) Proporciona mayores oportunidades de empleo e incrementa el flujo de ingresos en las comunidades rurales a lo largo del año (Mithiya et al., 2018; Barman et al., 2022; Dalal y Shankar, 2022; Ralte y Priscilla, 2023);
- 3) Promueve el uso eficiente de recursos (Mithiya et al., 2018; Preety y Sihmar, 2023; Zhao et al., 2023) y el desarrollo sostenible de la agricultura (Nayak y Kumar, 2019; Tamburini et al., 2020; Barman et al., 2022; Dalal y Shankar, 2022; Paroda, 2022; Zou et al., 2024);
- 4) Reduce la susceptibilidad de los cultivos a plagas, enfermedades y malezas (Lin, 2011; Barman et al., 2022; Guinet et al., 2023);
- 5) Ayuda a mejorar la fertilidad y productividad del suelo (Lin, 2011; Ali et al., 2012; Li et al., 2021; Zou et al., 2024);

- 6) Contribuye a la conservación de la biodiversidad (Khanam et al., 2018; Mango et al., 2018; Barman et al., 2022; Zou et al., 2024);
- 7) Fomenta la resiliencia y estabilidad del agroecosistema frente a las vulnerabilidades, las perturbaciones, el estrés y la tensión (Njeru, 2013; Khanam et al., 2018; Mango et al., 2018; Degani et al., 2019; Ochieng et al., 2020; Tamburini et al., 2020; Paroda 2022; Vernooy, 2022);
- 8) Aumenta los ingresos (Malaisamy, 2021; Dalal y Shankar, 2022; Paroda, 2022; Vernooy, 2022) y brinda mayores rendimientos financieros a los pequeños agricultores por unidad de superficie (Khanam et al., 2018; Barman et al., 2022; Ralte y Priscilla, 2023);
- 9) Favorece la reducción de la pobreza en los países subdesarrollados (Mango et al., 2018; Feliciano, 2019; Anderzén et al., 2020; Barman et al., 2022; Dalal y Shankar, 2022); entre otros.

2.3.4 La diversificación de cultivos como estrategia de gestión de riesgos en la agricultura

Adicionalmente a los múltiples beneficios de la diversificación de cultivos señalados con anterioridad, algunos estudios reconocen que extender la producción agrícola en varios cultivos puede ser una estrategia inteligente (efectiva) para reducir los riesgos en las explotaciones agrícolas (Vyas, 1996; Mithiya et al., 2018; Ochieng et al., 2020; Shelton Peter y Prabakar, 2020; Garland et al., 2021; Barman et al., 2022; Dalal y Shankar, 2022); particularmente los riesgos de precio y de producción (Meert et al., 2005; Di Falco y Chavas, 2009; Mukherjee, 2012; Khanam et al., 2018; Mango et al., 2018; Zou et al., 2024).

Dicho potencial de gestión de riesgos se basa en el hecho de que la disminución inesperada en el rendimiento/precio de algún cultivo específico se puede contrarrestar con el incremento de rendimiento/precio en otros cultivos integrados en el portafolio agrícola (Khanam et al., 2018; Román-Montes de Oca et al., 2020; Ralte y Priscilla, 2023), lo cual se traduce evidentemente en una mayor estabilidad (o menor fluctuación) en los ingresos de los productores (Singh, 2005; Khanam et al., 2018; Mango et al., 2018; Preeti y Sihmar, 2023).

Sin embargo, el efecto anterior no se puede generalizar espacial ni temporalmente; ya que se cumple siempre y cuando los cultivos que conforman el portafolio agrícola estén correlacionados negativamente entre sí en precio y/o rendimiento. De lo contrario, diversificar la producción en cultivos cuyos precios y/o rendimientos se mueven en una misma dirección (correlación positiva) podría representar un riesgo de ingreso de magnitud similar al percibido en el monocultivo (portafolio no diversificado; compuesto por un solo cultivo).

2.4 Fundamentos teóricos del riesgo y teoría de portafolios de inversión aplicada al contexto agrícola

2.4.1 Nociones y medición del riesgo

De acuerdo con Hardaker (2000), el riesgo de una variable X (rendimiento, precio, ingreso, utilidad, etc.) suele interpretarse comúnmente de tres formas:

1. La probabilidad de un valor bajo (insatisfactorio) en la variable,
2. La variabilidad de la variable (poca estabilidad), y
3. La incertidumbre de la variable (distribución completa de la variable; ya sea con resultados buenos o malos).

En el primer caso (la posibilidad de un resultado desfavorable), el riesgo (R^*) podría estar determinado por la probabilidad (P) de que la variable X tome un valor o rango de valores específico considerado “adverso o malo”. Es decir,

$$R^* = f(P[X \leq X^*]) \quad (3)$$

Donde R^* es el nivel de riesgo percibido, P es la probabilidad, X es el resultado aleatorio de la variable y X^* es la magnitud mínima aceptable por debajo de la cual los resultados de la variable se consideran “desfavorables”.

Un ejemplo hipotético de apreciación del riesgo a través de este enfoque sería imaginar que de conformidad con información histórica y para un nivel de confiabilidad dado, la probabilidad de que el precio medio rural de la papaya maradol (*Carica papaya*) en Tecomán, Colima sea menor a \$3.00 pesos por kilogramo (“valor a partir del cual se genera rentabilidad negativa”) es de:

- a) 92% ($P[X \leq 3] = 0.92$). Ciertamente, bajo este escenario, los agricultores de dicha región podrían percibir un riesgo de precio bastante significativo en tal cultivo y quizás optarían por invertir sus recursos en algún otro que fuese menos riesgoso.
- b) 5% ($P[X \leq 3] = 0.05$). Por el contrario, en estas circunstancias, el riesgo de precio asociado al cultivo de papaya puede ser interpretado como muy bajo o insignificante y, seguramente los agricultores querrían incluirlo en su portafolio agrícola.

En el segundo caso (inestabilidad de la variable), el riesgo puede ser representado por alguna medida de dispersión de la variable en cuestión, como la amplitud (A), desviación media (D.M.), varianza (s_X^2), desviación estándar (s_X) o el coeficiente de variación (CV_X) (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 48). No obstante, según señala Hardaker (2000), a diferencia de esta última estadística mencionada (CV_X), ninguna otra por sí misma dice algo sobre la ubicación de la distribución de los resultados en el eje de las abscisas (X). De ahí que sea habitual relacionar las demás medidas de dispersión con la esperanza matemática o valor esperado de la variable ($E[X] = \mu_X$) para tener una mejor percepción del riesgo como variabilidad de las observaciones.

Enseguida se describen las tres medidas de dispersión mayormente utilizadas en el análisis de riesgos (s_X^2 , s_X y CV_X):

- La **varianza** (s_X^2) de un conjunto de datos ($i = 1, 2, \dots, n$) se define como la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones (x_i) con respecto a su media ($\bar{x}$), dividida por el número de observaciones (n) menos una (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 51):

$$s_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

La varianza puede traducirse como el riesgo asociado a la media y, como puede notarse, es una magnitud con unidades cuadráticas, por ello que sea común utilizar igualmente su raíz cuadrada (s_X), con el fin de tener una medida de dispersión en las unidades originales de la variable analizada.

- La **desviación estándar** (s_X), como ya se comentó, se obtiene calculando la raíz cuadrada positiva de la varianza. Esto es,

$$s_X = \sqrt{s_X^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Esta medida de dispersión es la más usada en la práctica, ya que tiene la ventaja de poder calcularse fácilmente y además posee propiedades teóricas sumamente sólidas (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 51).

- El **coeficiente de variación** (CV_X) es una medida de la variabilidad relativa de un conjunto de datos. Se define como la desviación estándar (s_X) de las observaciones entre su valor medio ($\bar{x}$):

$$CV_X = \frac{s_X}{\bar{x}} \quad (6)$$

A diferencia de la varianza y la desviación estándar, que son medidas de dispersión absoluta, el coeficiente de variación es una magnitud independiente de las unidades de los datos examinados, por lo tanto, es apto para comparar la inestabilidad (riesgo) de dos o más variables (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 56). Derivado de esta noción, algunos autores consideran conveniente medir el riesgo a través del coeficiente de variación (Hardaker, 2000).

Como indicadores de riesgo, estas estadísticas descritas sugieren que entre mayor/menor sea su valor, mayor/menor será el riesgo asociado a una determinada variable (Avilés Cano et al., 2006).

2.4.2 Modelo “media-varianza” de Markowitz

La teoría de selección de portafolios de inversión de Markowitz (1952) se usa normalmente en la economía financiera para conformar portafolios óptimos (Avilés Cano et al., 2006) y opera bajo la hipótesis de que el inversionista experimenta aversión al riesgo, es decir, intenta maximizar el rendimiento o ingreso esperado (medio) de sus inversiones tanto como minimizar su variación (riesgo) (Díaz-Carreño et al., 2007).

Desde el punto de vista de Mukherjee (2012), este modelo sugiere que los agricultores pueden respaldar sus asignaciones económicas eficazmente mediante la combinación de una serie de cultivos que genere un nivel máximo de rendimiento (ingreso) esperado para una magnitud específica de riesgo, o bien, un nivel mínimo de riesgo para un cierto valor de rendimiento esperado. Se dice que los portafolio agrícolas contruidos a partir de este enfoque son eficientes en media y varianza (Avilés Cano et al., 2006; Díaz-Carreño et al., 2007).

De acuerdo con Markowitz (1952), la estrategia óptima de inversión en la agricultura se basa en dos principios básicos:

- I. El portafolio debe estar conformado por pequeñas proporciones de un gran número de cultivos (diversificación del riesgo).
- II. En la medida que el portafolio integre más cultivos que presenten covarianza o correlación negativa de sus rendimientos y/o precios respecto del resto de cultivos considerados, el nivel de riesgo global del portafolio se reducirá significativamente sin afectar de forma sustancial el ingreso o la rentabilidad esperada.

Ingreso esperado de un portafolio agrícola

El ingreso de un portafolio agrícola ($\bar{I}_p$) está determinado por los ingresos (I_i) de los cultivos ($i = 1, 2, \dots, n$) que lo conforman y por la proporción de recursos (p_i) invertida en cada uno de estos (Díaz-Carreño et al., 2007). Matemáticamente, se define como una suma ponderada (combinación lineal) de ingresos individuales (Avilés Cano et al., 2006). Esto es,

$$\bar{I}_p = p_1 I_1 + p_2 I_2 + \dots + p_n I_n \quad (7)$$

Con las siguientes condiciones de no negatividad y factibilidad:

- $0 \leq p_i \leq 1; \forall i = 1, 2, \dots, n$. Implica que las fracciones de cada cultivo no pueden ser negativas ni mayores a 100%.
- $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. La suma de las participaciones de todos los cultivos incluidos en el portafolio agrícola debe ser igual a 100%.

Por ejemplo, si se tuviera una superficie agrícola de 10 hectáreas con 2 cultivos ($i = 1, 2$) que ocupan el 50% de la superficie cada uno ($p_1 = p_2 = 0.5$) y en cierta ocasión los cultivos generaron ingresos individuales $I_1 = 500/ha$ y $I_2 = 200/ha$. Entonces, de acuerdo con la ecuación 7, el ingreso del portafolio ($\bar{I}_p$) sería:

$$\bar{I}_p = (0.5 \times 500) + (0.5 \times 200) = \$350/ha$$

Si un cultivo i genera m ingresos $I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{im}$ en el tiempo t a partir de rendimientos $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}$ y precios $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}$ ($I_i = R_i \times P_i$), entonces el ingreso esperado del cultivo ($\bar{I}_i$) puede obtenerse a partir de la esperanza matemática de sus ingresos ($E[I_i]$) (Díaz-Carreño et al., 2007), definida como:

$$E(I_i) = \bar{I}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I_{ij} \quad (8)$$

Al ser el ingreso del portafolio ($\bar{I}_p$) una suma ponderada de variables aleatorias (I_i), su valor esperado ($E[\bar{I}_p]$) es también una suma ponderada de valores esperados (Markowitz, 1952). Es decir:

$$E(\bar{I}_p) = p_1 E(I_1) + p_2 E(I_2) + \dots + p_n E(I_n) = \sum_{i=1}^n p_i E(I_i) \quad (9)$$

El ingreso es una variable aleatoria que sigue una distribución normal de media cero y varianza constante (Avilés Cano et al., 2006). Por tal razón, según argumenta Markowitz (1952), ésta puede ser caracterizada totalmente por sus dos primeros momentos (media y varianza). Esto quiere decir que, el ingreso medio y el nivel de riesgo de un portafolio agrícola son elementos necesarios y suficientes para tomar decisiones sobre este (Díaz-Carreño et al., 2007).

Riesgo de un portafolio agrícola

El riesgo de ingreso de un portafolio agrícola puede ser representado por la varianza de los ingresos ($Var[\bar{I}_p]$) que genera (Díaz-Carreño et al., 2007). Sin embargo, el cálculo de la varianza de una suma ponderada ($\bar{I}_p$) no es muy simple (Markowitz, 1952).

En este sentido, Infante-Gil y Zárate de Lara (1991), citados por Avilés Cano et al. (2006), argumentan que el riesgo global de un portafolio agrícola no depende exclusivamente del riesgo (varianza) individual de los cultivos (o actividades) que lo componen, sino también de la correspondencia entre estos. Este grado de asociación puede ser medido por la covarianza o la correlación de los ingresos de los cultivos involucrados (Markowitz, 1952).

Considerando que un par de cultivos i y j generan m pares de ingresos $(I_{i1}, I_{j1}), (I_{i2}, I_{j2}), \dots, (I_{im}, I_{jm})$ en el tiempo t , la covarianza entre sus ingresos se define como el valor esperado (promedio) de la multiplicación de sus respectivas desviaciones en torno a sus medias (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 150):

$$\sigma_{ij} = E\{(I_i - E[I_i])(I_j - E[I_j])\} \quad (10)$$

A diferencia de la varianza, que es estrictamente positiva, la covarianza puede ser positiva o negativa.

- Un valor positivo de covarianza ($\sigma_{ij} > 0$) manifiesta que las desviaciones positivas/negativas del ingreso del cultivo i respecto a su media se corresponden con desviaciones positivas/negativas del cultivo j .
- Por el contrario, un valor negativo ($\sigma_{ij} < 0$) refleja que las desviaciones positivas/negativas del ingreso del cultivo i respecto a su media se corresponden con desviaciones negativas/positivas del cultivo j .

Dicho de otra manera, una covarianza es positiva cuando las dos variables aleatorias se mueven en la misma dirección (crecen o decrecen) de forma simultánea, y es negativa cuando experimentan un comportamiento en sentido opuesto; es decir, en el momento en que una aumenta, la otra disminuye y viceversa (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 60). Esto sugiere que, conforme un portafolio agrícola incluya cultivos que presenten una alta asociación positiva/negativa de rendimientos, precios y/o ingresos con respecto a los demás cultivos considerados, el nivel de riesgo global aumentará/disminuirá gradualmente en función de sus participaciones (Mukherjee, 2012).

Tomando en cuenta que el coeficiente de correlación ($-1 \leq \rho_{ij} \leq 1$) está definido como $\rho_{ij} = \sigma_{ij} / \sigma_i \sigma_j$ (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 152). Entonces, la covarianza de ingresos entre los cultivos i y j (σ_{ij}) puede expresarse en términos de su correlación (ρ_{ij}) (Markowitz, 1952), esto es:

$$\sigma_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (11)$$

Donde σ_i y σ_j son las desviaciones estándar de los ingresos de los cultivos i y j , respectivamente (ecuación 5).

En contraste con la covarianza, que su valor está expresado en las mismas unidades en que se miden las variables, el coeficiente de correlación (ρ_{ij}) es una medida adimensional. Valores de ρ_{ij} próximos a 1 implican un fuerte vínculo positivo entre las variables y valores cercanos a -1 denotan una fuerte asociación negativa entre estas. Una correlación de cero hace saber que no existe una relación lineal entre las fluctuaciones de dichas variables, es decir, son independientes (Infante-Gil y Zárate de Lara, 2012, p. 152).

De acuerdo con Avilés Cano et al. (2006), la varianza del ingreso (riesgo) de un portafolio agrícola (σ_P^2) con n cultivos (o actividades) se determina en conformidad con la siguiente expresión:

$$\sigma_P^2 = Var\left(\sum_{i=1}^n p_i E(I_i)\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j \sigma_{ij} \quad (12)$$

Siempre que $i = j$, σ_{ij} representa la varianza del ingreso de cada uno de los cultivos que integran el portafolio y cuando $i \neq j$, σ_{ij} es la covarianza del ingreso entre el cultivo i y el cultivo j .

La ecuación anterior puede reescribirse como:

$$\sigma_P^2 = V p_{n,1}' \cdot \Omega_{n,n} \cdot V p_{n,1} = [p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_n] \cdot \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

Donde $Vp_{n,1}$ es el vector de participaciones de cada cultivo; $Vp_{n,1}'$ es el vector mencionado pero transpuesto; y $\Omega_{n,n}$ es la matriz de varianzas y covarianzas de ingresos $[\sigma_{ij}]$ entre los cultivos del portafolio.

La matriz $\Omega_{n,n} \equiv [\sigma_{ij}]$ es no singular y positiva definida (Avilés Cano et al., 2006). Su primera característica se debe a que ningún activo puede ser representado como una combinación lineal de otros activos (Merton, 1972). De ahí que su determinante sea diferente de cero ($\det[\Omega_{n,n}] \neq 0$) y por lo tanto, tenga matriz inversa ($\Omega_{n,n}^{-1} = [\sigma_{ij}]^{-1}$).

En Microsoft Excel, la solución a la ecuación 13 se puede hacer mediante la siguiente función:

$$\sigma_p^2 = \text{MMULT}\left(\text{TRANSPONER}(Vp_{n,1}), \text{MMULT}(\Omega_{n,n}, Vp_{n,1})\right) \quad (14)$$

Un agricultor puede diseñar una amplia variedad de portafolios agrícolas simplemente modificando los valores del vector de participaciones de cada cultivo ($Vp_{n,1}$). Cada portafolio estará caracterizado por un ingreso medio esperado ($E[\bar{I}_p]$), un nivel de riesgo (σ_p^2) y un grado de diversificación (*IH* o *IS*).

Desde luego que el portafolio de mínimo riesgo no es necesariamente el que ofrece el máximo ingreso esperado (Markowitz, 1952), sino que existe una relación a la cual el inversionista puede aumentar su ingreso esperado ($E[\bar{I}_p]$) asumiendo cierto riesgo (σ_p^2), o bien, aminorar el riesgo aceptando un determinado nivel de ingreso esperado ($\frac{d\sigma_p^2}{dE[\bar{I}_p]} > 0$).

Cuando se desea conformar un portafolio agrícola de mínimo riesgo de ingreso para un determinado nivel de ingreso esperado (portafolio óptimo) a partir de un conjunto de n cultivos, el problema consiste en encontrar los valores del vector de participaciones de cada cultivo ($Vp_{n,1}$) que minimizan la varianza del ingreso del portafolio ($\text{Var}[\bar{I}_p]$) para ese nivel de ingreso esperado ($E[\bar{I}_p]$). La solución analítica de esta optimización se puede revisar en el trabajo realizado por Avilés Cano et al. (2006).



Figura 31. Distribución de las unidades de riego en México.

Fuente: CONAGUA, 2019.

Es importante señalar que, a pesar de que los DR y las UR (también conocidas como Unidades de Riego para el Desarrollo Rural [Urderal]) tienen los mismos objetivos (impulsar la producción y la productividad agropecuaria), existen algunas características cruciales que los diferencian. En general, las UR son más numerosas (aprox. 51,000), de menor superficie (<500 ha) y tienen mayor autonomía que los DR (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2012).

El DR 053 está conformado por cuatro unidades de riego¹⁷: 1) Cihuatlán, 2) Peñitas, 3) Tecomán y 4) Coahuayana, localizadas en los municipios de Cihuatlán, Estado de Jalisco; Manzanillo, Colima, Comala, Villa de Álvarez, Coquimatlán y Tecomán, Estado de Colima; y Coahuayana, Estado de Michoacán (véase figura 32). Abarca un área total de 66,868 ha y una superficie con posibilidades de riego de 39,013 ha (DOF, 1997).

¹⁷ Las unidades de riego de un DR son distintas a las UR o Urderal. Éstas resultan del agrupamiento de varios módulos de riego (que a su vez se conforman por varios conjuntos de lotes o parcelas de los usuarios [denominados secciones de riego]) y normalmente comprenden superficies de entre 5,000 y 50,000 ha (IMTA, 2012).

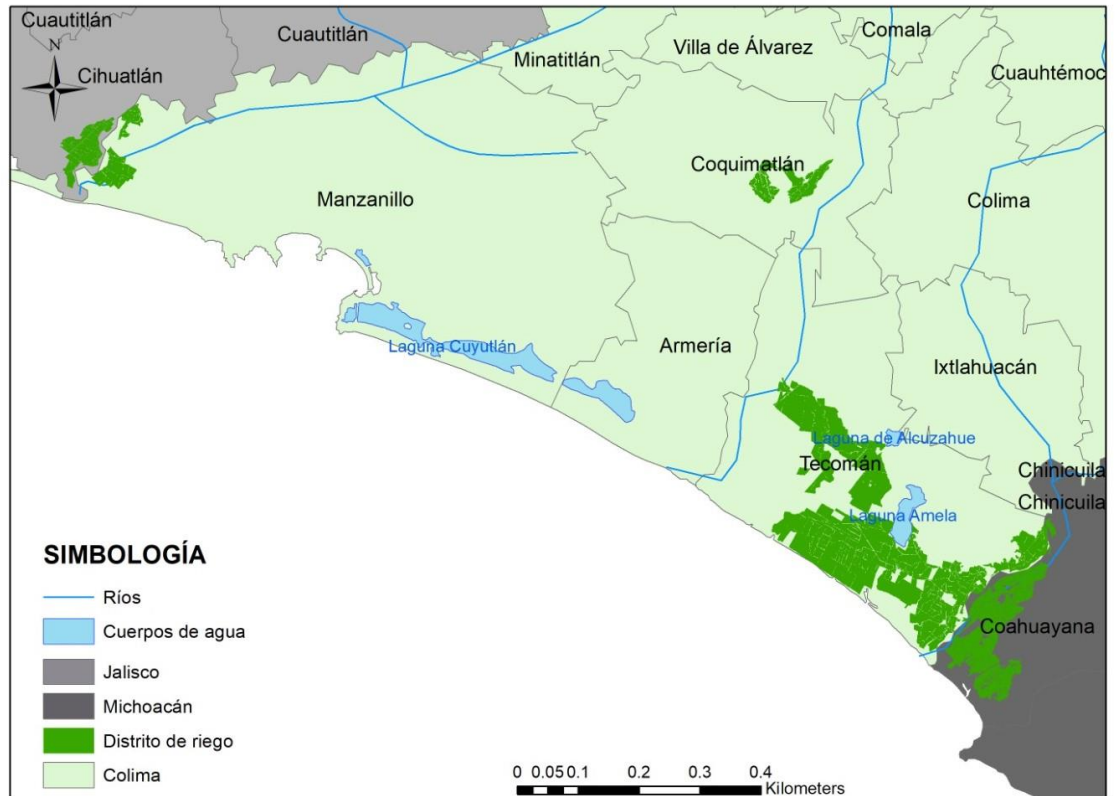


Figura 32. Localización del Distrito de Riego 053 Estado de Colima.

Fuente: CONAGUA, 2024.

En el cuadro siguiente se muestran las participaciones en términos de superficie de cada unidad de riego que contribuye a la constitución del Distrito de Riego 053 Estado de Colima.

Cuadro 5. Conformación del Distrito de Riego 053 Estado de Colima.

No.	Unidad de Riego	Superficie total (ha)	%	Superficie regable (ha)	%
1	Cihuatlán	4,775	7.14	2,148	5.51
2	Peñitas	20,180	30.18	11,829	30.32
3	Tecomán	7,563	11.31	6,201	15.89
4	Coahuayana	34,350	51.37	18,835	48.28
	Total	66,868	100.00	39,013	100.00

Nota: La superficie regable representa el 58.34% de la superficie total del distrito. Fuente: Elaborado con datos del DOF, 1997.

2.5.2 Conformación y comportamiento de la superficie sembrada

Según datos de CONAGUA (2023), el área agrícola del DR 053 Estado de Colima se conforma por cultivos del ciclo otoño-invierno (O-I), primavera-verano (P-V) y perennes. En el cuadro 6 se muestran las magnitudes anuales de superficie sembrada correspondientes a cada grupo para el periodo de estudio y en la figura 33 se hace una representación gráfica de las mismas.

Cuadro 6. Superficie anual sembrada (ha) en el DR 053 (1997/98-2021/22).

No.	Año agrícola	Ciclo O-I	Ciclo P-V	Perennes	Total
1	1997/98	2,522	1,745	18,348	22,615
2	1998/99	2,333	2,519	17,542	22,394
3	1999/00	3,033	2,825	17,229	23,087
4	2000/01	2,804	1,978	18,294	23,076
5	2001/02	3,395	1,662	19,589	24,646
6	2002/03	3,016	2,771	19,525	25,312
7	2003/04	2,608	2,587	20,869	26,064
8	2004/05	3,013	2,581	20,887	26,481
9	2005/06	2,885	2,879	20,998	26,762
10	2006/07	3,380	1,835	22,697	27,912
11	2007/08	3,228	1,915	23,406	28,549
12	2008/09	3,384	2,277	22,670	28,331
13	2009/10	2,576	2,109	21,234	25,919
14	2010/11	3,281	1,737	24,805	29,823
15	2011/12	2,480	1,425	24,753	28,658
16	2012/13	2,703	1,358	24,698	28,759
17	2013/14	2,453	1,509	22,543	26,505
18	2014/15	2,944	1,539	22,571	27,054
19	2015/16	2,573	1,343	22,556	26,472
20	2016/17	2,552	1,213	24,062	27,827
21	2017/18	2,265	1,332	24,103	27,700
22	2018/19	2,377	1,382	23,545	27,304
23	2019/20	2,630	1,170	25,242	29,042
24	2020/21	2,373	861	24,984	28,218
25	2021/22	1,966	938	27,079	29,983
	Acumulada	68,774	45,490	554,229	668,493
	Promedio	2,751	1,820	22,169	26,740
	Participación (%)	10	7	83	100
	Desviación estándar	391	604	2,645	2,193

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

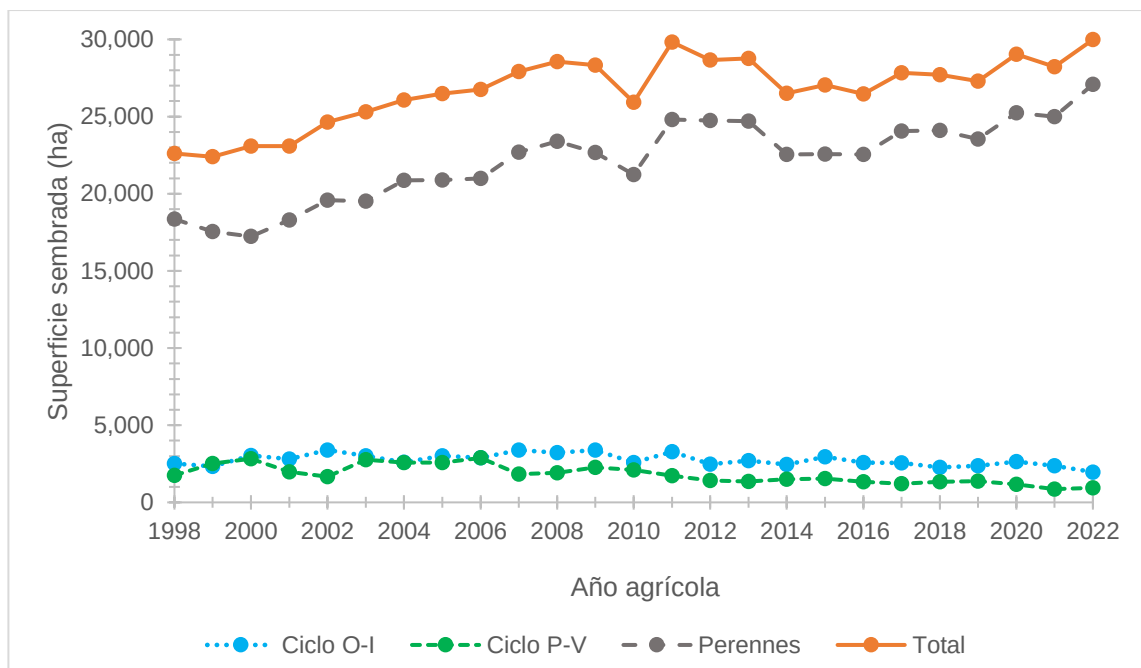


Figura 33. Comportamiento de la superficie sembrada en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

De acuerdo con el cuadro y la figura anterior, la superficie sembrada en el ciclo O-I ha tenido un comportamiento prácticamente horizontal durante el periodo de análisis, siendo el grupo que presenta menor variabilidad en la misma (desviación estándar de 391 ha).

Por su parte, la superficie sembrada en el ciclo P-V muestra una tendencia un tanto similar a la del ciclo O-I (correlación positiva del 45.17%), sin embargo, presenta mayor dispersión que este (desviación estándar de 604 ha) y un comportamiento decreciente más marcado en los últimos años.

Por otro lado, la superficie sembrada total y la superficie dedicada a cultivos perennes presentan una tendencia creciente casi idéntica (correlación positiva del 95.47%), lo que implica que todo aumento/disminución de la superficie sembrada en el distrito se ve reflejado generalmente en un incremento/reducción de superficie sembrada de cultivos perennes (véase cuadro 7).

Cuadro 7. Matriz de correlaciones de superficie sembrada (ha) en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

	Ciclo O-I	Ciclo P-V	Perennes	Total
Ciclo O-I	1.0000	0.4517	-0.2705	-0.0238
Ciclo P-V	0.4517	1.0000	-0.7386	-0.5352
Perennes	-0.2705	-0.7386	1.0000	0.9547
Total	-0.0238	-0.5352	0.9547	1.0000

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

La superficie total sembrada en el distrito es en promedio 26,740 ha y se conforma en un 83% (22,169 ha) por cultivos perennes, 10% (2,751 ha) por cultivos del ciclo O-I y 7% (1,820 ha) por cultivos del ciclo P-V (véase figura 34).

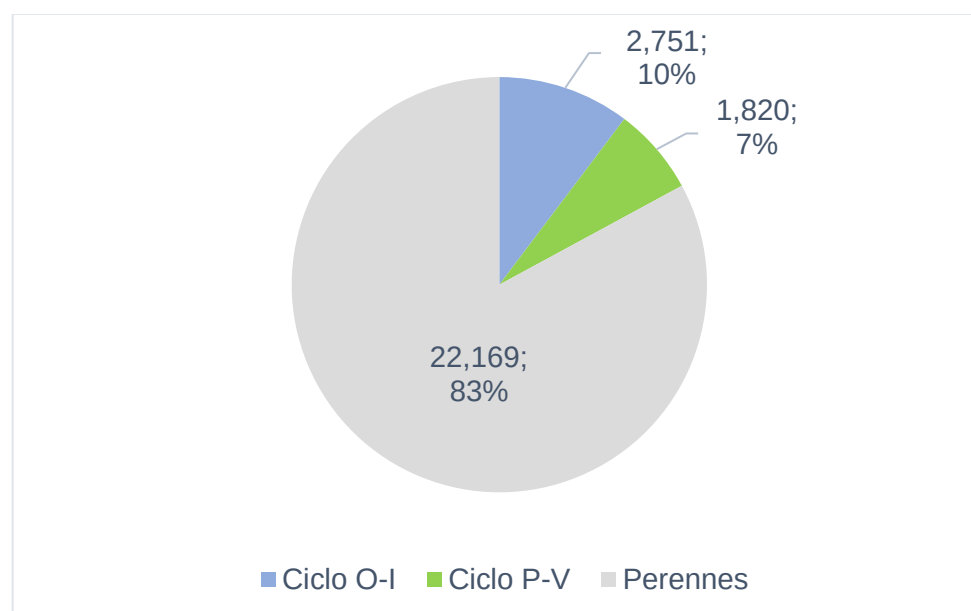


Figura 34. Participación promedio por grupo de cultivos en la superficie anual sembrada (ha) del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

2.5.3 Cultivos con mayor presencia en el ciclo O-I

En los 25 años agrícolas analizados (1997/98 a 2021/22), se observó la participación de 21 cultivos en el ciclo O-I; destacando el maíz elotero como cultivo predominante con una participación en superficie sembrada acumulada del 51%, seguido por maíz grano y melón con una participación del 10% y 8%, respectivamente (véase cuadro 8 y figura 35).

Cuadro 8. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo otoño-invierno del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

No.	Cultivo	Superficie acumulada (ha)	Participación (%)
1	Maíz elotero	34,869	50.70
2	Maíz grano	6,772	9.85
3	Melón	5,456	7.93
4	Sandía	4,999	7.27
5	Pepino	4,968	7.22
6	Chile	3,293	4.79
7	Sorgo grano	2,628	3.82
8	Arroz	1,486	2.16
	Otros	4,303	6.26
	Total	68,774	100.00

Nota: Otros incluye sorgo forrajero, tomate de cáscara, jitomate, maíz forrajero, entre otros.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

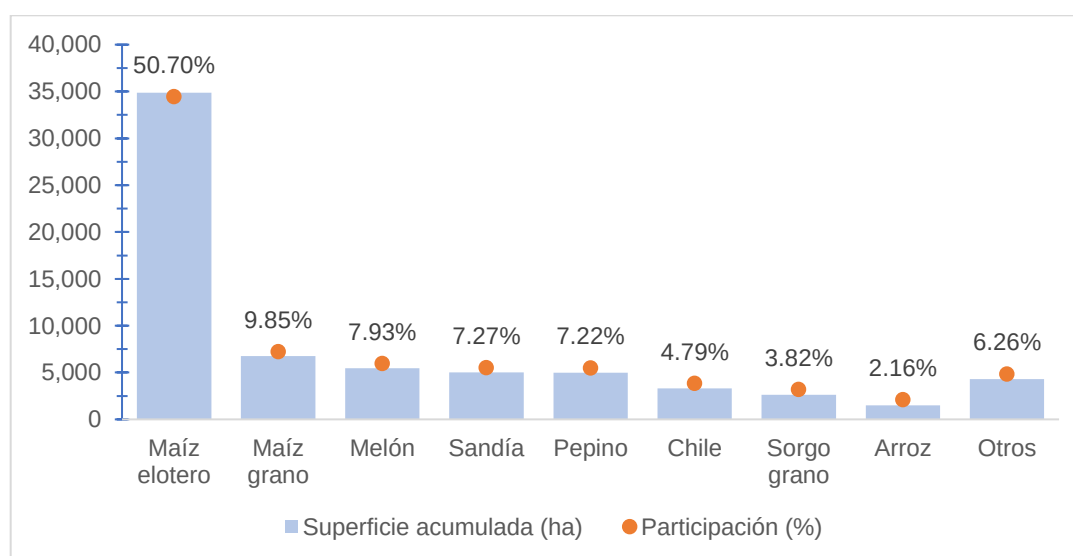


Figura 35. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo otoño-invierno del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

2.5.4 Cultivos con mayor presencia en el ciclo P-V

En el ciclo P-V se observó la participación de 17 cultivos, siendo el arroz el cultivo predominante con una participación en superficie sembrada acumulada del 53%, seguido por maíz grano y maíz elotero con una participación del 10% y 9%, respectivamente (véase cuadro 9 y figura 36).

Cuadro 9. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo primavera-verano del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

No.	Cultivo	Superficie acumulada (ha)	Participación (%)
1	Arroz	24,323	53.47
2	Maíz grano	4,386	9.64
3	Maíz elotero	4,300	9.45
4	Sorgo grano	2,836	6.23
5	Pepino	2,651	5.83
6	Melón	1,550	3.41
7	Maíz forrajero	1,233	2.71
8	Sorgo forrajero	1,134	2.49
	Otros	3,077	6.76
	Total	45,490	100.00

Nota: Otros incluye sandía, chile, tomate de cáscara, jitomate, ajonjolí, entre otros.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

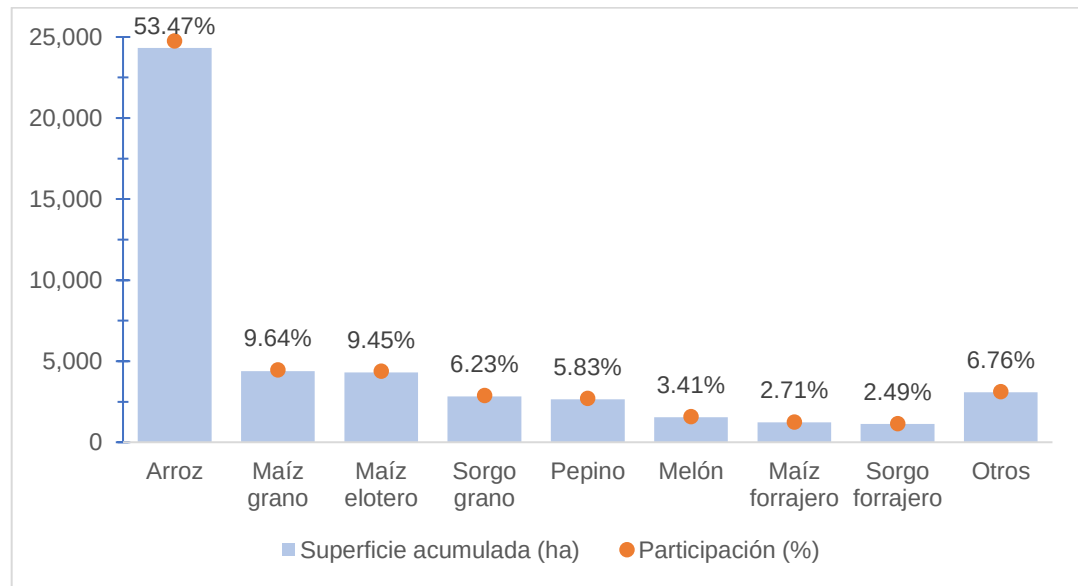


Figura 36. Participación de cultivos por superficie sembrada acumulada en el ciclo primavera-verano del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

2.5.5 Cultivos perennes con mayor presencia.

En lo que respecta a cultivos perennes, se observó la participación de 29 activos, destacando el plátano como cultivo predominante con una participación en superficie sembrada acumulada del 30%, seguido por limón y caña de azúcar con una participación del 24% y 11%, respectivamente (véase cuadro 10 y figura 37).

Cuadro 10. Participación de cultivos perennes por superficie sembrada acumulada en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

No.	Cultivo	Superficie acumulada (ha)	Participación (%)
1	Plátano	163,798	29.55
2	Limón	135,596	24.47
3	Caña de azúcar	59,807	10.79
4	Limón asociado	32,736	5.91
5	Plátano asociado	29,671	5.35
6	Estrella (zacate)	24,866	4.49
7	Cocotero asociado	22,594	4.08
8	Papayo	18,385	3.32
	Otros	66,776	12.05
	Total	554,229	100.00

Nota: Otros incluye mango, cocotero, tamarindo, piña, naranja, guanábano, entre otros.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

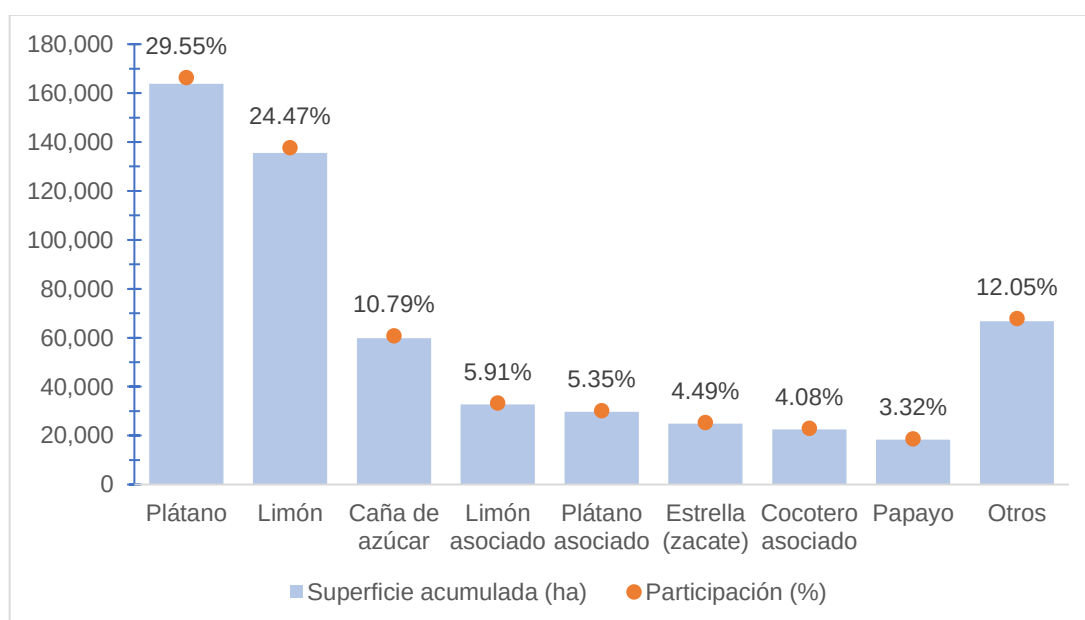


Figura 37. Participación de cultivos perennes por superficie sembrada acumulada en el DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

A diferencia de los portafolios cíclicos (O-I y P-V), que se caracterizaron por estar débilmente diversificados (concentran aproximadamente la mitad de la superficie sembrada acumulada en un solo cultivo), el portafolio de cultivos perennes muestra una diversificación aparentemente mayor.

2.6 Literatura citada

- Ali, R. I., Awan, T. H., Ahmad, M., Saleem, M. U., y Akhtar, M. (2012). Diversification of rice-based cropping systems to improve soil fertility, sustainable productivity and economics. *Journal of Animal and plant sciences*, 22(1), 108-112. Disponible en <https://thejaps.org.pk/docs/v-22-1/3.pdf>
- Anderzén, J., Guzmán Luna, A., Luna-González, D. V., Merrill, S. C., Caswell, M., Méndez, V. E., Hernández Jonapá, R., Mier, M., y Giménez Cacho T. (2020). Effects of on-farm diversification strategies on smallholder coffee farmer food security and income sufficiency in Chiapas, Mexico. *Journal of Rural Studies*, 77, 33-46. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.04.001>
- Asociación Española de Agricultura de Conservación. 2008. La agricultura de conservación. Una vía hacia el desarrollo sostenible. *Agricultura Familiar en España*. https://www.upa.es/anuario_2008/pag_142-152_ribes.pdf
- Avilés Cano, M., González Estrada, A., y Martínez Damián, M. Á. (2006). Análisis de riesgo, portafolios óptimos y diversificación en la agricultura. *Agrociencia*, 40(3), 409-417. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240313>
- Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (BIE-INEGI). 2023. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#bodydataExplorer>
- Barman, A., Saha, P., Patel, S. y Bera, A. (2022). Crop Diversification an Effective Strategy for Sustainable Agriculture. *IntechOpen*, 1-18. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102635>
- Chhatre, A., Devalkar, S., y Seshadri, S. (2016). Crop diversification and risk management in Indian agriculture. *Decision*, 43(2), 167-179. <https://doi.org/10.1007/s40622-016-0129-1>
- CONAGUA. 2019. Estadísticas del Agua en México 2019. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM_2019.pdf
- CONAGUA. 2022. Estadísticas del Agua en México 2021. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/10/EAM_2021.pdf
- CONAGUA. 2023. Estadística agrícola en distritos de riego. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/874434/ESTAD_STICA_AGRICOLA_POR_DISTRITO_1998-2022.xlsx
- CONAGUA. 2024. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- Coppus, R. y FAO. 2021. Global distribution of land degradation. Thematic background report for SOLAW 2021. Roma. <https://www.fao.org/land-water>.

- Dalal, S. y Shankar, T. (2022). Crop Diversification and its Importance in Agriculture: A Review. *Indian Journal of Natural Sciences*, 13(72), 44540-44548.
- Degani, E., Leigh, S. G., Barber, H. M., Jones, H. E., Lukac, M., Sutton, P., y Potts, S. G. (2019). Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 285, 106625. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106625>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) – Economic Research Service (ERS). 2021. *International Agricultural Productivity*. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/>
- Díaz-Carreño, M. Á., Juárez-Toledo, R., y Gómez-Chagoya, M. D. C. (2007). Conformación de una cartera de inversión óptima de cultivos agrícolas para México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 7(25), 49-63. <https://doi.org/10.22136/est002007231>
- Di Falco, S., y Chavas, J. (2009). On Crop Biodiversity, Risk Exposure, and Food Security in the Highlands of Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(3), 599-611. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2009.01265.x>
- DOF. 1997. Acuerdo mediante el cual se establece el Distrito de Riego 053 denominado Estado de Colima. Consulta en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=4953952
- Falkenmark, M. y Widstrand, C. 1992. Population and water resources: a delicate balance. *Population Bulletin*, 47(3), 1-36.
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. 2018. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma. <https://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>
- FAO. 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- FAO. 2021. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- FAO. 2023. Versión resumida de Repercusiones de las catástrofes en la agricultura y la seguridad alimentaria 2023: Evitar y reducir las pérdidas mediante la inversión en la resiliencia. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc8500es>
- Feliciano, D. (2019). A review on the contribution of crop diversification to Sustainable Development Goal 1 “No poverty” in different world regions. *Sustainable Development*, 1-14. <https://doi.org/10.1002/sd.1923>

- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) - Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2023). Reporte trimestral del entorno económico (Diciembre de 2023). <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- FIRA - Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2024a). Reporte semanal de precios (Semana del 23 al 27 de septiembre de 2024). <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- FIRA - Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. (2024b). Reporte trimestral de fertilizantes (Septiembre de 2024). <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- Gangwar B., Duhoon S.K., y Gill M.S. (2010). System based production potential, yield gaps and diversification opportunities in selected zones of India. *Progressive Agriculture*, 10(3), 19-26.
- Garland, G., Edlinger, A., Banerjee, S., Degrun, F., García-Palacios, P., Pescador, D. S., Herzog, C., Romdhane, S., Saghai, A., Spor, A., et al. (2021). Crop cover is more important than rotational diversity for soil multifunctionality and cereal yields in European cropping systems. *Nature Food*, 2(1), 28-37. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00210-8>
- Garrido, A., y Bardají, I. (2009). Estrategias para la gestión de riesgos y crisis en la agricultura española. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, (221), 175-205. <https://ageconsearch.umn.edu/record/168568?v=pdf>
- Gleick, P.H. 2002. The World's Water 2002-2003: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press, Washington, D.C.
- Guinet, M., Adeux, G., Cordeau, S., Courson, E., Nandillon, R., Zhang, Y., y Munier-Jolain, N. (2023). Fostering temporal crop diversification to reduce pesticide use. *Nature Communications*, 14(7416). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43234-x>
- Hardaker, J.B. (2000). Some issues in dealing with risk in agriculture. Working Paper Series in Agricultural and Resource Economics. University of New England. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.12912>
- Hardaker, J.B., Huirne, R.B.M., Anderson, J.R. y Lien, G. (2015). Coping with Risk in Agriculture (3ª ed.). CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK. DOI: 10.1079/9780851998312.0000
- Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. S., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., Rajaofara, H., y MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20130089. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0089>
- Harwood, J.L., Heifner, R., Coble, K., Perry, J., y Somwaru, A. (1999). Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Analysis. US Department of

- Agriculture, Economic Research Service. Agricultural Economic Report No. 774. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=40971>
- Hitayezu, P., Zegeye, E. W., y Ortmann, G. F. (2016). Farm-level crop diversification in the Midlands region of Kwazulu-Natal, South Africa: patterns, microeconomic drivers, and policy implications. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(6), 553-582. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1156595>
- Imas, V. J., G. V., Flecha, M., Benítez, G., y Gómez, J. M. (2020). *Agricultura familiar campesina. riesgos, pobreza, vulnerabilidad y protección social*. Centro de Análisis y Difusión de la Economía Paraguaya, CADEP. <https://repositorio.conacyt.gov.py/bitstream/handle/20.500.14066/3695/PINV15-1075libro.pdf?sequence=1>
- IMTA. 2012. Manejo y distribución del agua en distritos de riego. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-dadr/files/assets/basic-html/page13.html
- Infante-Gil, S., y Zárate de Lara, G. P. (2012). *Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario: Vol. 1. La Gaya Ciencia* (3ª ed.). Editorial del Colegio de Postgraduados.
- INEGI. 2023. Subsistema de Información Económica. Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- Kaur, P., Singla, N., y Singh, S. (2021). Role of Contract Farming in Crop Diversification and Employment Generation: Empirical Evidence from Indian Punjab. *Millennial Asia*, 12(3), 350-366. <https://doi.org/10.1177/09763996211051300>
- Khanam, R., Bhaduri, D., y Nayak, A.K. (2018). Crop diversification: an important way-out for doubling farmers' income. *Indian Farming*, 68(1), 31-32.
- Komarek, A. M., De Pinto, A., y Smith, V. H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178 (102738). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>
- Li, X.F., Wang, Z.G., Bao, X.G., Sun, J.H., Yang, S.C., Wang, P., Wang, C.B., Wu, J.P., Liu, X.R., Tian, X.L.; et al. (2021). Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping. *Nature Sustainability*, 4(11), 943-950. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00767-7>
- Lin, B. B. (2011). Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience*, 61(3), 183-193. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
- Lopes Soares, W. y Firpo de Souza Porto, M. (2009). Estimating the social cost of pesticide use: An assessment from acute poisoning in Brazil. *Ecological Economics*, 68(10), 2721-2728. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.008>

- Makate, C., Wang, R., Makate, M., y Mango, N. (2016). Crop diversification and livelihoods of smallholder farmers in Zimbabwe: adaptive management for environmental change. *SpringerPlus*, 5(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2802-4>
- Malaisamy, A. (2021). "An Empirical Analysis on Relationship between Crop Diversification and Doubling the Farmers Income". *International Journal of Social Sciences*, 10(3), 225-229. <https://doi.org/10.46852/2249-6637.03.2021.4>
- Mango, N., Makate, C., Mapemba, L., y Sopo, M. (2018). The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi. *Agriculture & Food Security*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0160-x>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.2307/2975974>
- Meert, H., Van Huylenbroeck, G., Vernimmen, T., Bourgeois, M., & van Hecke, E. (2005). Farm household survival strategies and diversification on marginal farms. *Journal of Rural Studies*, 21(1), 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2004.08.007>
- Merton, R. C. (1972). Analytic derivation of the efficient portfolio frontier. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 1851-1872.
- Mithiya D., Mandal K., y Datta L. (2018). Trend, pattern and determinants of crop diversification of small holders in West Bengal: A district-wise panel data analysis. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 10(4), 110-119. <https://doi.org/10.5897/jdae2018.0921>
- Mukherjee, S. (2012). Crop diversification and risk: an empirical analysis of Indian states. *Munich Personal RePEc Archive*, 35947. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/35947/>.
- Nayak, C. y Kumar, C. R. (2019). Crop diversification in Odisha: an analysis based on panel data. *Agricultural Economics Research Review*, 32(1), 67-80. DOI: 10.5958/0974-0279.2019.00006.5
- Njeru, E. (2013). Crop Diversification: A Potential Strategy To Mitigate Food Insecurity by Smallholders in sub-Saharan Africa. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 3(4), 1-7. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2013.034.006>
- Ochieng, J., Kirimi, L., Ochieng, D. O., Njagi, T., Mathenge, M., Gitau, R., y Ayieko, M. (2020). Managing climate risk through crop diversification in rural Kenya. *Climatic Change*, 162, 1107-1125. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02727-0>
- ONU. 2021. Noticias sobre cambio climático y medio ambiente. <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492762#:~:text=La%20Organizaci%20n%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20para%20la,insectos%20invasores%20al%20menos%2070.000%20millones%20de%20d%20lares.>

- Paroda, R. (2022). Crop Diversification for Sustainable Agriculture. *Ecology, Economy and Society-the INSEE Journal*, 5(1), 15-21. <https://doi.org/10.37773/ees.v5i1.611>
- Preety y Sihmar, R. (2023). Crop diversification in Haryana. *International Journal of Financial Management and Economics*, 6(2), 142-147. <https://doi.org/10.33545/26179210.2023.v6.i2.241>
- Ralte, R., y Priscilla, L. (2023). Crop Diversification in India: A Review. *International Journal of Bioresource Science*, 10(1), 135-142. <https://doi.org/10.30954/2347-9655.01.2023.14>
- Renard, D., y Tilman, D. (2019). National food production stabilized by crop diversity. *Nature*, 571(7764), 257-260. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>
- Román-Montes de Oca, E., Licea-Resendiz, J. E., y Romero-Torres, F. (2020). Diversificación de ingresos de los productores como estrategias de desarrollo rural. *Entramado*, 16(2), 126-141. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6752>
- Saldaña-Zorrila, S. O. (2015). Assessment of disaster risk management in Mexico. *Disaster Prevention and Management*, 24(2), 230-248. <https://doi.org/10.1108/DPM-11-2013-0201>
- SADER. 2021. Mapa Agrícola de afectación por salinidad en México. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/mapa-agricola-de-afectacion-por-salinidad-en-mexico>
- Semarnat y Colegio de Postgraduados. 2003. Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html#2
- SEMARNAT. 2008. Compendio de estadísticas ambientales. 2008. México D. F. <http://www.semarnat.gob.mx/Temas/estadística-ambientales>.
- Shelton Peter, Y., y Prabakar, C. (2021). Crop diversification and its relevance in risk management in Thiruvavur district of Tamilnadu, India. *Plant Archives*, 21(1), 2497-2500. <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2021.v21.s1.406>
- Singh, S. (2000). Contract Farming for Agricultural Diversification in the Indian Punjab: A Study of Performance and Problems. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 55(3), 283-294. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.297755>
- Singh, S. (2005). Contract Farming for Agricultural Development and Diversification in Punjab: Problems and Prospects. *Journal of Punjab Studies*, 12(2), 251-270.
- Singh, R., Babu, S., Avasthe, R. K. y Yadav, G. S. (2018). Crop diversification and intensification for enhancing livelihood security in Sikkim. Published by

ICAR-National Organic Farming Research Institute, Tadong, Gangtok, Sikkim, India. DOI: 10.13140/RG.2.2.23919.33448

- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIACON-SIAP). 2023. <https://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon>
- SIAP. 2024. Panorama agroalimentario 2018-2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados de la Secretaría de Economía (SNIIM-SE). 2023. Precios de Frutas, Hortalizas, Vegetales, Carnes, Pescados, Pecuarios, Pesqueros (economia-sniim.gob.mx).
- SMN-CONAGUA. 2024. Monitor de Sequía en México (MSM). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., van der Heijden, M. G. A., Liebman, M., y Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6(45), Artículo eaba1715. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>
- Trinidad-Santos, A., y Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agroproductividad*, 9(8), 52-58.
- Vernooy, R. (2022). Does crop diversification lead to climate-related resilience? Improving the theory through insights on practice. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 1-25. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2076184>
- Vyas, V.S. (1996). Diversification in Agriculture: Concept, Rationale and Approaches. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 51(4): 636-643.
- Zhao, Y., Guo, S., Zhu, X., Zhang, L., Long, Y., Wan, X., y Wei, X. (2024). How maize-legume intercropping and rotation contribute to food security and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 434(140150). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140150>
- Zou, Y., Liu, Z., Chen, Y., Wang, Y., y Feng, S. (2024). Crop Rotation and Diversification in China: Enhancing Sustainable Agriculture and Resilience. *Agriculture*, 14(9), 1465. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091465>

3 ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 053 ESTADO DE COLIMA

Cisneros-Mendoza, Víctor I.¹; Martínez-Damián, Miguel Á.^{2*}; González-Estrada, Adrián³; Valdivia-Alcalá, Ramón¹

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

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

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 10, Campo experimental Valle de México. Carretera Los Reyes- Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56250.

*Autor para correspondencia: angel01@colpos.mx

3.1 ABSTRACT

Objective: To examine crop diversification's potential as a risk management strategy in the 053 State of Colima Irrigation District in the period 1997/98-2021/22.

Design/methodology/approach: The relationship between yield, price and income risk levels and diversification degree of the annual agricultural portfolios in the autumn-winter (A-W), spring-summer (S-S) cycle and perennial crops was analyzed. Diversification was measured through the Herfindahl index (HI). Risk was interpreted as the variables' instability, was represented by the standard deviation and was calculated according to Markowitz's mean-variance methodology.

Results: It was found that agricultural portfolio diversification is an useful strategy to reduce price risk in the two agricultural cycles, as well as yield and income risk in perennial crops (significantly positive correlations) but unfavorable to manage these last two types of risk in the S-S cycle (considerably negative correlations). It was also observed that in the three crop groups, income risk is basically determined by the price variation (market risk).

Limitations on study/implications: The results of the study lose validity as soon as the elements of the variance and covariance matrix in the irrigation district change. The analysis can be complemented by calculating the optimal (analytical) portfolio for each crop group.

Findings/conclusions: It is concluded that in order to contribute positively to the income stability in the irrigation district, special attention should be paid to the management of price fluctuations (market risk) in the three crop groups and to increasing diversification mainly in perennial crops.

Key words: agricultural portfolios, Herfindahl index, risk management.

3.2 RESUMEN

Objetivo: Examinar el potencial de la diversificación de cultivos agrícolas como estrategia de administración de riesgos en el Distrito de Riego 053 Estado de Colima en el periodo 1997/98-2021/22.

Diseño/metodología/aproximación: Se analizó la correspondencia entre los niveles de riesgo de rendimiento, precio e ingreso y el grado de diversificación de los portafolios agrícolas anuales en el ciclo otoño-invierno (O-I), primavera-verano (P-V) y cultivos perennes. La diversificación fue medida a través del índice de Herfindahl (IH). El riesgo se interpretó como la inestabilidad de las variables, se representó por la desviación estándar y fue calculado de conformidad con la metodología media-varianza de Markowitz.

Resultados: Se encontró que la diversificación del portafolio agrícola es una estrategia útil para reducir el riesgo de precio en los dos ciclos agrícolas, así como el riesgo de rendimiento e ingreso en cultivos perennes (correlaciones significativamente positivas), pero desfavorable para gestionar estos dos últimos tipos de riesgo en el ciclo P-V (correlaciones considerablemente negativas). Se observó también que en los tres grupos de cultivos, el riesgo de ingreso está determinado básicamente por la variación de los precios (riesgo de mercado).

Limitaciones del estudio/implicaciones: Los resultados del estudio pierden validez tan pronto como cambien los elementos de la matriz de varianzas y

covarianzas en el distrito. El análisis se puede complementar con el cálculo del portafolio óptimo (analítico) para cada grupo de cultivos.

Hallazgos/conclusiones: Se concluye que para contribuir positivamente a la estabilidad de los ingresos en el distrito se debe poner especial atención a la gestión de las fluctuaciones de los precios (riesgo de mercado) en los tres grupos de cultivos y al aumento de la diversificación principalmente en cultivos perennes.

Palabras clave: portafolios agrícolas, índice de Herfindahl, gestión de riesgos.

3.3 INTRODUCCIÓN

A nivel global, el sector agropecuario registra notables daños y pérdidas anuales en la producción debido a factores climáticos, biológicos y ambientales (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA, por sus siglas en inglés], 2021; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2021). Las perturbaciones en la producción (rendimientos) y el mercado (precios) generadas por estos agentes, propician a su vez un importante dinamismo en los ingresos de los productores que compromete por un lado, su estabilidad económica, productiva y social (Duncan y Myers, 2000); y por el otro, la sostenibilidad y prosperidad del sector agroalimentario, sobre todo en los países más pobres (FAO, 2023).

En este contexto y considerando que a escala mundial, la mayor parte de la población en situación de pobreza extrema (aproximadamente el 80%) reside en el medio rural de los países en desarrollo, y que su subsistencia depende en mayor medida de la agricultura (FAO, 2021); la implementación de políticas, mecanismos y/o estrategias que brinden mayor certeza, tranquilidad y solidez económica a sus productores adquiere especial importancia (Solano-Alonso et al., 2021).

La diversificación de cultivos es considerada como una alternativa plausible, lógica y necesaria para reducir los riesgos y la incertidumbre en las explotaciones agrícolas (Deshpande et al., 2007; Khanam et al., 2018; Mango et al., 2018). Sin embargo, en México no hay suficientes estudios empíricos que lo demuestren.

El objetivo principal de esta investigación consistió en explorar el potencial de la diversificación de cultivos como mecanismo de administración de riesgos en el Distrito de Riego 053 Estado de Colima en el periodo 1997/98-2021/22. Se analizaron también las tendencias de la diversificación, el riesgo de ingreso y el ingreso esperado en el distrito y se identificó el portafolio agrícola de mínimo riesgo de ingreso (histórico) en el ciclo otoño-invierno, primavera-verano y cultivos perennes. Se espera que los resultados derivados del análisis puedan servir como referencia para que los productores del distrito y zonas aledañas (principalmente) realicen asignaciones más eficientes de sus recursos.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Datos

Los datos utilizados para el análisis se descargaron de la sección de estadística agrícola de los distritos de riego que publica anualmente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en formato de hoja de cálculo de Microsoft Excel. De dicho archivo se extrajo la información particular del Distrito de Riego 053 Estado de Colima de los 25 años agrícolas disponibles (1997/98-2021/22). Las variables de interés fueron: a) superficie sembrada (ha), b) rendimiento (ton/ha) y c) precio medio rural (miles\$/ton); multiplicando las variables b y c se generó una cuarta variable: d) ingreso (miles\$/ha). Tanto el precio medio rural como el ingreso se trabajaron en términos reales, para lo cual se utilizó el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC%) del Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (BIE-INEGI), con año base 2018.

3.4.2 Diversificación

El grado de diversificación de los portafolios agrícolas anuales se midió a través del índice de Herfindahl (IH), definido matemáticamente como:

$$IH = \sum_{i=1}^n p_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{S_T} \right)^2 \quad (1)$$

Donde p_i es la proporción de superficie sembrada del i -ésimo cultivo que conforma el portafolio agrícola, definida como la superficie bajo cada cultivo (S_i) entre la superficie total cultivada ($S_T = \sum_{i=1}^n S_i$). Desde luego que $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ (Mukherjee, 2012).

El IH toma valores entre cero y uno ($0 < IH \leq 1$). Un valor cercano a cero ($IH \rightarrow 0$) indica un nivel relativamente alto de diversificación ($i \rightarrow \infty$), mientras que un valor próximo a la unidad ($IH \rightarrow 1$) implica un nivel relativamente bajo de diversificación ($i \rightarrow 1$). La unidad ($IH = 1$) significa evidentemente una especialización perfecta ($i = 1$) (Malaisamy, 2021; Kaur et al., 2021). El recíproco del IH (IH^{-1}) refleja el número de cultivos en los que se concentra un portafolio agrícola.

3.4.3 Ingreso esperado y riesgo

El ingreso esperado y los niveles de riesgo de los portafolios agrícolas anuales se calcularon según el modelo media-varianza de Markowitz (1952). El ingreso esperado ($E[\bar{I}_P]$) se determinó con la siguiente expresión (Avilés Cano et al., 2006):

$$E(\bar{I}_P) = p_1 E(I_1) + p_2 E(I_2) + \dots + p_n E(I_n) = \sum_{i=1}^n p_i E(I_i) \quad (2)$$

Con las siguientes condiciones: $0 \leq p_i \leq 1$ y $\sum_{i=1}^n p_i = 1$; y $E(I_i)$ definida como (Díaz-Carreño et al., 2007):

$$E(I_i) = \bar{I}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I_{ij} \quad (3)$$

Por su parte, el riesgo de ingreso de los portafolios se representó por la varianza de sus ingresos generados ($Var[\bar{I}_P]$) (Díaz-Carreño et al., 2007), calculada como:

$$\sigma_P^2 = Var\left(\sum_{i=1}^n p_i E(I_i)\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j \sigma_{ij} \quad (4)$$

Siempre que $i = j$, σ_{ij} representa la varianza del ingreso de cada uno de los cultivos que integran el portafolio y cuando $i \neq j$, σ_{ij} es la covarianza del ingreso entre el cultivo i y el cultivo j (Avilés Cano et al., 2006).

La ecuación anterior puede reescribirse como:

$$\sigma_P^2 = Vp_{n,1}' \cdot \Omega_{n,n} \cdot Vp_{n,1} = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_n] \cdot \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Donde $Vp_{n,1}$ es el vector de participaciones de cada cultivo; $Vp_{n,1}'$ es el vector mencionado pero transpuesto; y $\Omega_{n,n}$ es la matriz de varianzas y covarianzas de ingresos $[\sigma_{ij}]$ entre los cultivos (véase Apéndice C, Apéndice D y Apéndice E).

La solución a la ecuación 5 se realizó en Microsoft Excel con la siguiente función:

$$\sigma_P^2 = \text{MMULT}\left(\text{TRANSPONER}(Vp_{n,1}), \text{MMULT}(\Omega_{n,n}, Vp_{n,1})\right) \quad (6)$$

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Análisis de la diversificación de cultivos.

En la figura 38 se muestra el grado de diversificación de los portafolios agrícolas anuales observados en el DR 053 durante el periodo de análisis. Como puede verse, los portafolios anuales de cultivos perennes son generalmente los más diversificados (menos concentrados), con una tendencia casi horizontal durante el periodo analizado. De acuerdo con el IH medio de estos portafolios (0.1994), la superficie sembrada de cultivos perennes se concentra en promedio en 5 cultivos. Los portafolios menos diversificados (más concentrados) corresponden a los del ciclo P-V. Según el IH medio de estos portafolios (0.3692), la superficie sembrada en este ciclo se concentra en promedio en 2.7 cultivos. Considerando la desviación estándar del IH de estos portafolios (13.13%), se concibe que la diversificación de cultivos en este ciclo ha tenido mayor variabilidad a través del tiempo en comparación con el ciclo O-I y cultivos perennes (desviaciones estándar del 10.93% y 1.84%, respectivamente).

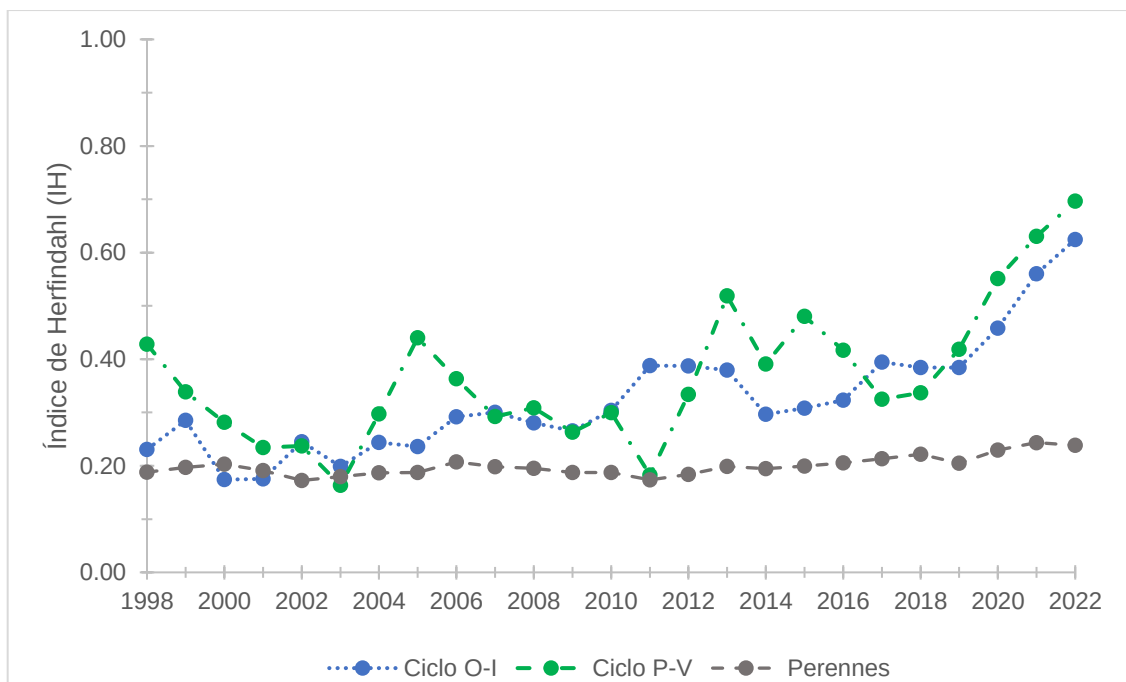


Figura 38. Índice de Herfindahl del DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).

El grado de diversificación de los portafolios del ciclo O-I se encuentra comúnmente entre las magnitudes de los otros dos grupos, con un IH promedio de 0.3247, lo que supone que la superficie sembrada en este ciclo se concentra en promedio en 3 cultivos. En particular, el IH de los portafolios de cultivos cíclicos (O-I y P-V) exhibe un comportamiento creciente con el tiempo ($IH \rightarrow 1$), lo que implica que la superficie sembrada en ambos ciclos se concentra cada vez más en un menor número de cultivos; es decir, hay una tendencia muy marcada hacia la especialización.

3.5.2 Análisis del ingreso esperado y riesgo de ingreso.

Ciclo O-I

En la figura 39 se presenta el ingreso esperado ($E[\bar{I}_P]$) y el nivel de riesgo de ingreso (σ_i) de los portafolios agrícolas anuales observados en el ciclo O-I. Como puede notarse, el ingreso esperado y el nivel de riesgo de ingreso de los portafolios agrícolas de este ciclo presentan un nivel moderado de asociación positiva (correlación del 57.81%), así como una ligera tendencia decreciente a través del tiempo. El portafolio de mínimo riesgo de ingreso para este ciclo

corresponde al observado en el año agrícola 2013/14. Sus características se muestran en el cuadro 11.



Figura 39. Ingreso esperado y riesgo de ingreso en el ciclo O-I del DR 053.

Cuadro 11. Portafolio de mínimo riesgo de ingreso en el ciclo O-I del DR 053.

Año agrícola	Activos	Superficie (ha)	Pi (%)	Riesgo (σ_i)	E ($\bar{I}_p$)	IH
2013/14	Chile	175	7.13	8.166	51.361	0.297
	Jitomate	9	0.37			
	Maíz elotero	1,109	45.21			
	Maíz forrajero	5	0.20			
	Maíz grano	697	28.41			
	Melón	106	4.32			
	Pepino	96	3.91			
	Sandía	27	1.10			
	Sorgo forrajero	90	3.67			
	Sorgo grano	91	3.71			
	Tomate	48	1.96			
	Total	2,453	100.00			

Nota: Pi = participación; σ_i = desv. estándar del ingreso (miles\$/ha); E ($\bar{I}_p$) = ingreso esperado (miles\$/ha).

Ciclo P-V

Tal como se aprecia en la figura 40, el ingreso esperado y el riesgo de ingreso de los portafolios agrícolas del ciclo P-V exhiben una fuerte correspondencia positiva (correlación del 96.28%) y una evidente tendencia decreciente con el tiempo. El portafolio de mínimo riesgo de ingreso identificado en este ciclo es el del año agrícola 2020/21. Sus particularidades se detallan en el cuadro 12.

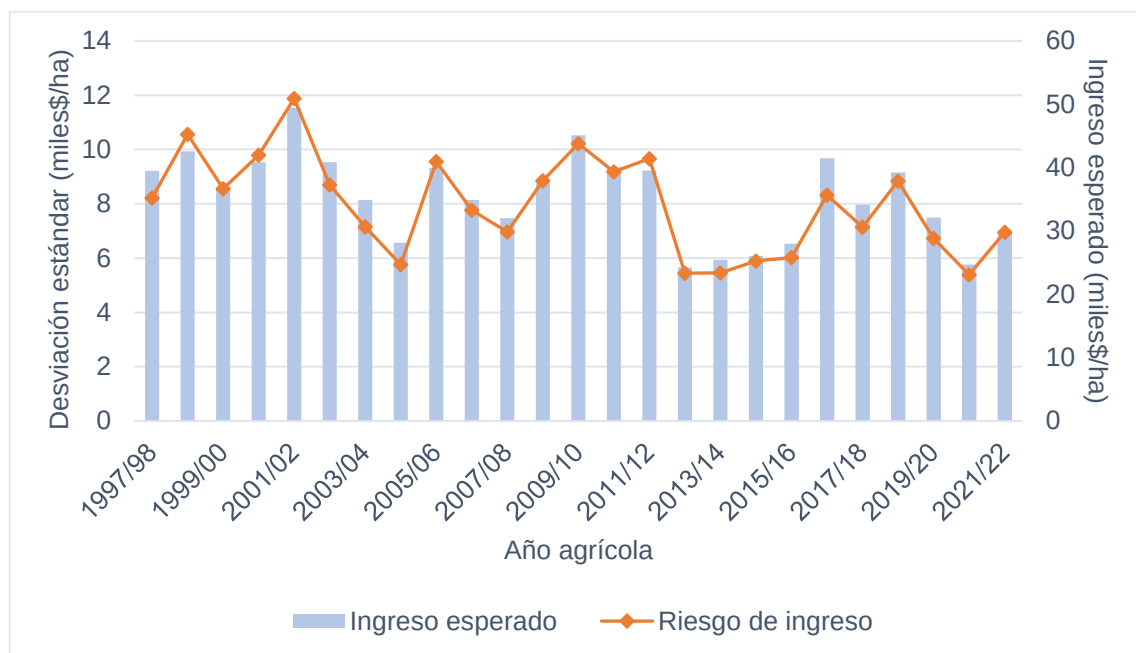


Figura 40. Ingreso esperado y riesgo de ingreso en el ciclo P-V del DR 053.

Cuadro 12. Portafolio de mínimo riesgo de ingreso en el ciclo P-V del DR 053.

Año agrícola	Activos	Superficie (ha)	Pi (%)	Riesgo (σ_i)	E ($\bar{I}_p$)	IH
2020/21	Arroz	678	78.75	5.390	24.695	0.63
	Maíz elotero	54	6.27			
	Maíz grano	40	4.65			
	Pepino	20	2.32			
	Sorgo forrajero	45	5.23			
	Sorgo grano	24	2.79			
	Total	861	100.00			

Nota: Pi = participación; σ_i = desv. estándar del ingreso (miles\$/ha); E ($\bar{I}_p$) = ingreso esperado (miles\$/ha).

Cultivos perennes

Como puede verse en la figura 41, el ingreso esperado y el riesgo de ingreso de los portafolios agrícolas de cultivos perennes presentan una alta relación positiva (correlación del 97.77%) y una tendencia creciente muy marcada a través del tiempo. El portafolio de mínimo riesgo de ingreso de este grupo de cultivos corresponde al observado en el año agrícola 1998/99. Sus elementos se exponen en el cuadro 13.

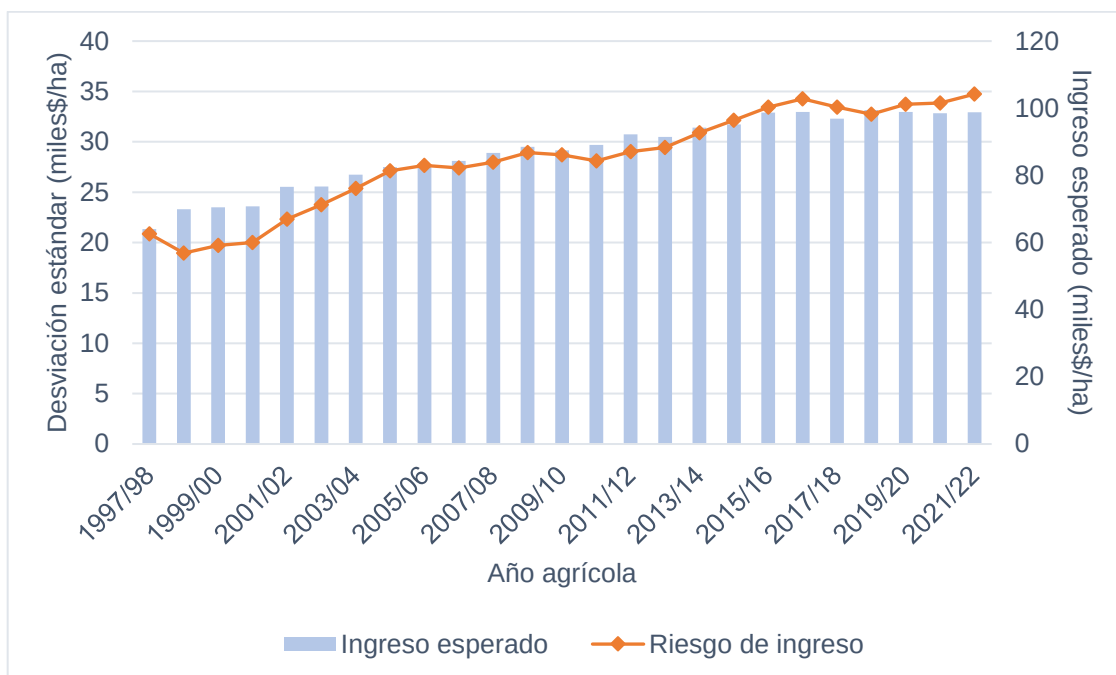


Figura 41. Ingreso esperado y riesgo de ingreso en cultivos perennes.

Cuadro 13. Portafolio de mínimo riesgo de ingreso en cultivos perennes.

Año agrícola	Activos	Superficie (ha)	Pi (%)	Riesgo (σ_i)	E ($\bar{I}_p$)	IH
1998/99	Caña de azúcar	1,309	7.46			
	Cocotero	761	4.34			
	Frutales as.	36	0.21			
	Guanábano	82	0.47			
	Lima	20	0.11			
	Limón	6,338	36.13			
	Limón as.	3,045	17.36			
	Mango	464	2.65			
	Mango as.	72	0.41	18.952	69.934	0.197
	Naranja	140	0.80			
	Otros cultivos*	83	0.47			
	Papayo	88	0.50			
	Plátano	1,227	6.99			
	Plátano as.	2,037	11.61			
	Tamarindo	123	0.70			
	Otros**	1,717	9.79			
	Total	17,542	100.00			

Nota: Pi = participación; σ_i = desv. estándar del ingreso (miles\$/ha); E ($\bar{I}_p$) = ingreso esperado (miles\$/ha); as = asociado(s). *Agrupados por CONAGUA, 2023. **Agrupados por el autor; incluye arándano, bermuda (zacate), forrajes asociados, guanábano asociado, litchi, naranja asociada, otros forrajes, otros pastos, papayo asociado y yaca.

3.5.3 Análisis de la correspondencia entre riesgos y diversificación.

Ciclo O-I

De acuerdo con las correlaciones entre el riesgo de rendimiento (σ_r), riesgo de precio (σ_p), riesgo de ingreso (σ_i) y el IH de los portafolios agrícolas anuales del ciclo O-I del DR 053 Estado de Colima (véase cuadro 14), se percibe que la diversificación de cultivos ($IH \rightarrow 0$) en este ciclo reduce en buena medida el riesgo de precio (correlación positiva del 78%), pero a su vez agudiza ligeramente la variabilidad de los rendimientos y de los ingresos (correlaciones negativas del 10.9% y 10.7%, respectivamente).

Cuadro 14. Matriz de correlaciones (%) entre riesgos y diversificación en el ciclo O-I de DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).

	Rendimiento (σ_r)	Precio (σ_p)	Ingreso (σ_i)	IH
Rendimiento (σ_r)	100.00	26.63	93.91	-10.88
Precio (σ_p)	26.63	100.00	29.49	78.13
Ingreso (σ_i)	93.91	29.49	100.00	-10.74
IH	-10.88	78.13	-10.74	100.00

Nota: σ_r , σ_p y σ_i son las desviaciones estándar del rendimiento (ton/ha), precio (miles\$/ton) e ingreso (miles\$/ha) esperado (promedio) de los portafolios agrícolas anuales.

Adicionalmente, haciendo una comparación entre riesgos (medidos por el coeficiente de variación [CV]) (véase figura 42), se tiene que el riesgo de ingreso en este ciclo agrícola está determinado en mayor medida por la fluctuación de los precios (correlación positiva del 89%); aunque también se corresponde considerablemente de forma positiva con la incertidumbre de los rendimientos (correlación del 64%).

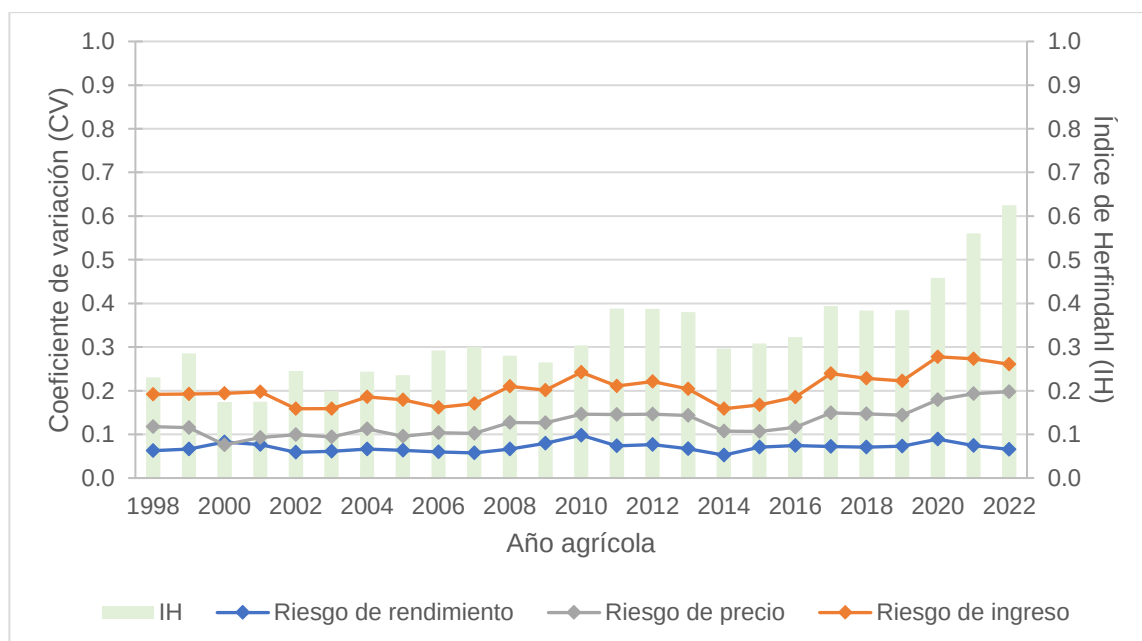


Figura 42. Riesgos y diversificación en el ciclo O-I (1997/98-2021/22).

Ciclo P-V

De conformidad con la matriz de correlaciones entre riesgos (medidos como desviación estándar) y el IH de este ciclo agrícola (véase cuadro 15), se aprecia que la diversificación de cultivos ($IH \rightarrow 0$) en el ciclo P-V disminuye

considerablemente el riesgo de precio (correlación positiva del 80%), pero también exacerba en buen grado la variabilidad de los rendimientos y de los ingresos (correlaciones negativas del 64% y 62%, respectivamente).

Cuadro 15. Matriz de correlaciones (%) entre riesgos y diversificación en el ciclo P-V del DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).

	Rendimiento (σ_r)	Precio (σ_p)	Ingreso (σ_i)	IH
Rendimiento (σ_r)	100.00	-78.70	83.01	-64.47
Precio (σ_p)	-78.70	100.00	-56.48	80.07
Ingreso (σ_i)	83.01	-56.48	100.00	-62.44
IH	-64.47	80.07	-62.44	100.00

Nota: σ_r , σ_p y σ_i son las desviaciones estándar del rendimiento (ton/ha), precio (miles\$/ton) e ingreso (miles\$/ha) esperado (promedio) de los portafolios agrícolas anuales.

Análogamente, comparando los riesgos (medidos por el CV) (véase figura 43), se percibe que también en este ciclo agrícola el riesgo de precio es el mayor causante de la variación en el ingreso. Sin embargo, el riesgo de ingreso mantiene cierto grado de asociación positiva con el dinamismo de los rendimientos (correlación del 30%).

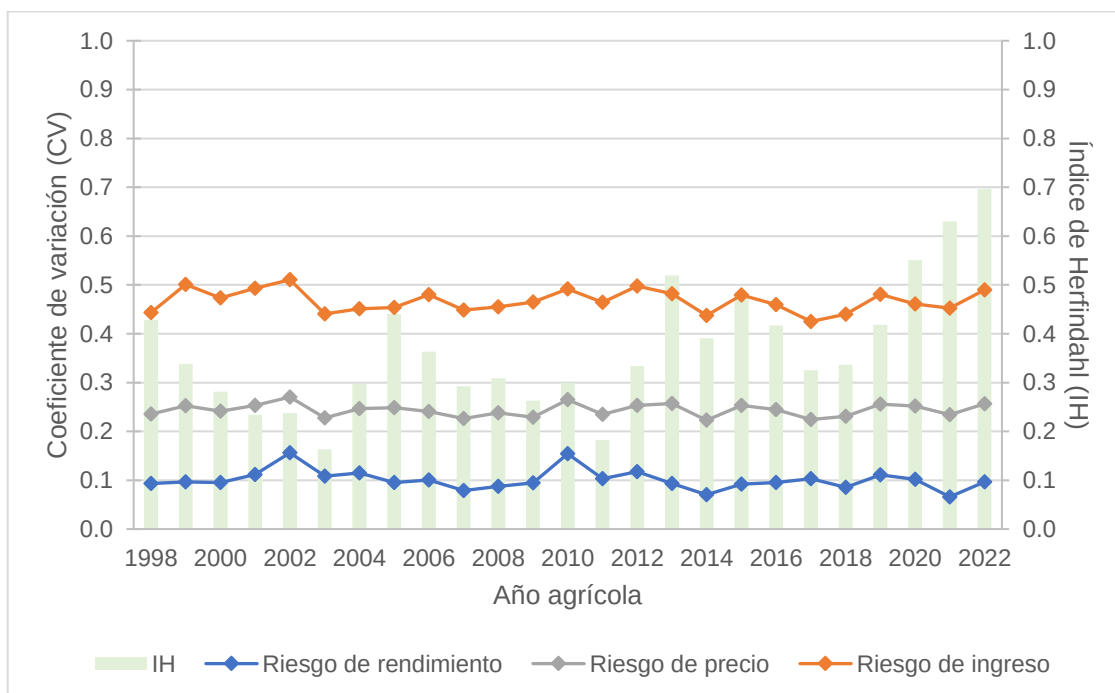


Figura 43. Riesgos y diversificación en el ciclo P-V (1997/98-2021/22).

Cultivos perennes

De acuerdo con la matriz de correlaciones entre los tres tipos de riesgo analizados (medidos como desviación estándar) y el IH (véase cuadro 16), se nota que la diversificación de cultivos perennes ($IH \rightarrow 0$) aminora moderadamente el riesgo de rendimiento y el riesgo de ingreso (correlaciones positivas del 67% y 61%, respectivamente).

Cuadro 16. Matriz de correlaciones (%) entre riesgos y diversificación en cultivos perennes del DR 053 Edo. Colima (1997/98-2021/22).

	Rendimiento (σ_r)	Precio (σ_p)	Ingreso (σ_i)	IH
Rendimiento (σ_r)	100.00	-37.79	91.68	66.67
Precio (σ_p)	-37.79	100.00	-52.76	-5.78
Ingreso (σ_i)	91.68	-52.76	100.00	60.92
IH	66.67	-5.78	60.92	100.00

Nota: σ_r , σ_p y σ_i son las desviaciones estándar del rendimiento (ton/ha), precio (miles\$/ton) e ingreso (miles\$/ha) esperado (promedio) de los portafolios agrícolas anuales.

Revisando las tendencias y correlaciones entre riesgos (medidos por el CV) (véase figura 44), se deduce que al igual que en los cultivos cíclicos, el riesgo de ingreso en cultivos perennes proviene mayormente de la incertidumbre en torno a los precios y se corresponde altamente con la variación de los rendimientos agrícolas (correlación positiva del 81%).

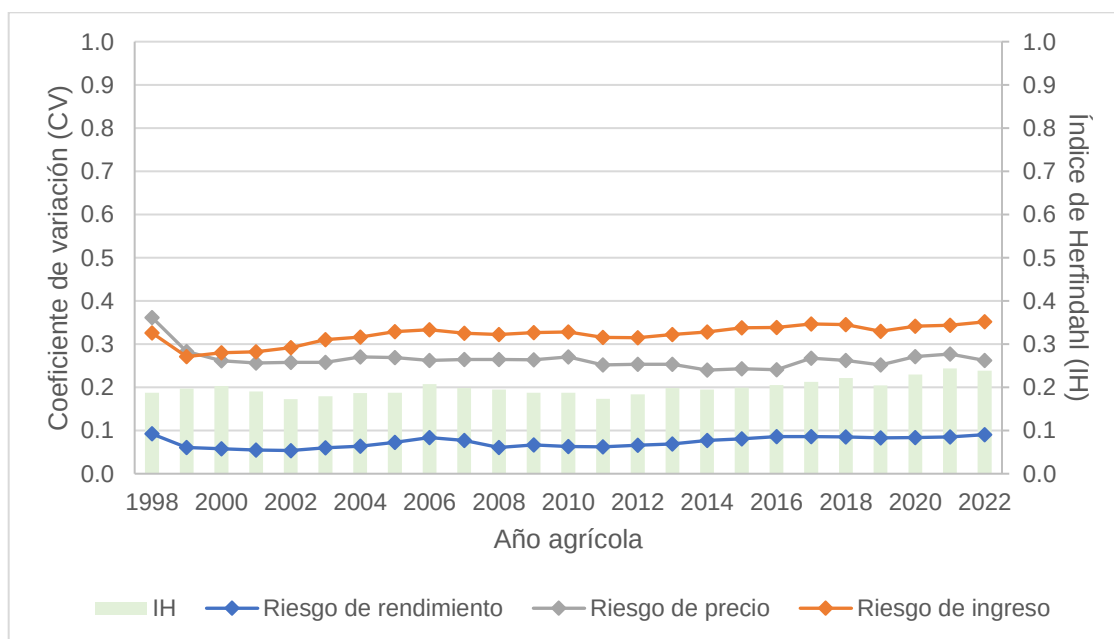


Figura 44. Riesgos y diversificación en cultivos perennes (1997/98-2021/22).

3.6 CONCLUSIONES

El análisis de la diversificación evidenció que los portafolios anuales de cultivos perennes fueron generalmente los más diversificados y exhibieron una tendencia del IH casi horizontal durante el periodo estudiado. Por su parte el IH de los portafolios agrícolas del ciclo O-I y P-V mostró un comportamiento creciente con el tiempo ($IH \rightarrow 1$), lo que da evidencia de una clara tendencia hacia la especialización en ambos ciclos.

Se observó también una moderada asociación positiva entre el ingreso promedio y el nivel de riesgo de ingreso de los portafolios agrícolas del ciclo O-I (correlación del 58%) y muy alta en el ciclo P-V (correlación del 96%), así como una evidente tendencia decreciente de estas variables a través del tiempo en los dos ciclos. Mientras tanto, en los portafolios agrícolas de cultivos perennes dichos indicadores también se correspondieron altamente de forma positiva (correlación del 98%), pero su tendencia fue notoriamente creciente.

El análisis de la correspondencia entre riesgos y el IH destacó que la diversificación del portafolio agrícola ($IH \rightarrow 0$) es una estrategia útil para reducir significativamente el riesgo de precio en los dos ciclos agrícolas, así como el riesgo de rendimiento e ingreso en cultivos perennes, pero desfavorable para gestionar estos dos últimos tipos de riesgo en el ciclo P-V.

Adicionalmente, se encontró que tanto en los portafolios agrícolas de cultivos cíclicos como en los de cultivos perennes, el riesgo de ingreso está determinado básicamente por la variación de los precios (riesgo de mercado). Esto sugiere que para contribuir positivamente a la estabilidad de los ingresos en el distrito se debe poner especial atención a la gestión de las fluctuaciones de los precios (riesgo de mercado) en los tres grupos de cultivos y al aumento de la diversificación principalmente en cultivos perennes. Los portafolios de mínimo riesgo de ingreso (históricos) identificados en cada grupo de cultivos corresponden a los observados en el año agrícola 2013/14 (ciclo O-I), 2020/21 (ciclo P-V) y 1998/99 (cultivos perennes) y constituyen también una alternativa factible para minimizar la inestabilidad de los ingresos en el distrito.

3.7 REFERENCIAS

1. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) - Economic Research Service (ERS). (2021). *International Agricultural Productivity*. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/>
2. FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
3. Duncan, J. y Myers, R. J. (2000). Crop insurance under catastrophic risk. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(4), 842-855. <https://doi.org/10.1057/9780230226203.0205>
4. FAO. (2023). Versión resumida de Repercusiones de las catástrofes en la agricultura y la seguridad alimentaria 2023: Evitar y reducir las pérdidas mediante la inversión en la resiliencia. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc8500es>
5. Solano-Alonso, R., Altamirano-Cárdenas, J. R., Santoyo-Cortés, V. H., y Muñoz-Rodríguez, M. (2021). El seguro agropecuario como instrumento de política pública para la gestión de riesgos en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31(57). <https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1100>
6. Deshpande, R., Mehta, P., y Khalil, S. (2007). Crop diversification and agricultural labour in India. *Indian Journal of Labour Economics*, 50(4), 597-610.
7. Khanam, R., Bhaduri, D., y Nayak, A.K. (2018). Crop diversification: an important way-out for doubling farmers' income. *Indian Farming*, 68(1), 31-32.
8. Mango, N., Makate, C., Mapemba, L., y Sopo, M. (2018). The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi. *Agriculture & Food Security*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0160-x>

9. CONAGUA. (2023). Estadística agrícola en distritos de riego.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/874434/ESTAD_STICA_AGRICOLA_POR_DISTRITO_1998-2022.xlsx
10. Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (BIE-INEGI). (2023).
<https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#bodydataExplorer>
11. Mukherjee, S. (2012). Crop diversification and risk: an empirical analysis of Indian states. *Munich Personal RePEc Archive*, 35947.
<https://mpira.ub.uni-muenchen.de/35947/>
12. Malaisamy, A. (2021). "An Empirical Analysis on Relationship between Crop Diversification and Doubling the Farmers Income". *International Journal of Social Sciences*, 10(3), 225-229. <https://doi.org/10.46852/2249-6637.03.2021.4>
13. Kaur, P., Singla, N., y Singh, S. (2021). Role of Contract Farming in Crop Diversification and Employment Generation: Empirical Evidence from Indian Punjab. *Millennial Asia*, 12(3), 350-366.
<https://doi.org/10.1177/09763996211051300>
14. Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.2307/2975974>
15. Avilés Cano, M., González Estrada, A., y Martínez Damián, M. Á. (2006). Análisis de riesgo, portafolios óptimos y diversificación en la agricultura. *Agrociencia*, 40(3), 409-417.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240313>
16. Díaz-Carreño, M. Á., Juárez-Toledo, R., y Gómez-Chagoya, M. D. C. (2007). Conformación de una cartera de inversión óptima de cultivos agrícolas para México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 7(25), 49-63.
<https://doi.org/10.22136/est002007231>

4 CONCLUSIONES GENERALES

El análisis descriptivo de la conformación y el comportamiento de la superficie sembrada en el distrito durante el periodo 1997/98-2021/22 reveló que la superficie anual sembrada es en promedio de 26,740 ha y se conforma en un 83% (22,169 ha) por cultivos perennes, 10% (2,751 ha) por cultivos del ciclo O-I y 7% (1,820 ha) por cultivos del ciclo P-V. La superficie anual sembrada en el ciclo P-V mostró un comportamiento horizontal bastante similar a la del ciclo O-I, aunque con una ligera tendencia decreciente más marcada en los últimos años. Por su parte, la superficie total sembrada y la superficie dedicada a cultivos perennes presentaron una tendencia creciente casi idéntica, implicando que todo aumento/disminución de la superficie sembrada en el distrito se ve reflejado generalmente en un incremento/decremento de la superficie sembrada de cultivos perennes. También, se observó la participación de 21 cultivos en el ciclo O-I, 17 en el ciclo P-V y 29 cultivos perennes. Destacando en el primer grupo el maíz elotero, maíz grano y melón como cultivos predominantes, con participaciones respectivas en superficie sembrada acumulada del 51%, 10% y 8%; en el segundo el arroz, maíz grano y maíz elotero, con contribuciones del 53%, 10% y 9%, respectivamente; y en el tercero el plátano, limón y caña de azúcar, con proporciones correspondientes del 30%, 24% y 11%.

El análisis de la diversificación evidenció que los portafolios anuales de cultivos perennes son generalmente los más diversificados (o menos concentrados), exhibiendo una tendencia del IH casi horizontal durante el periodo estudiado y un valor medio de 0.199, lo que supone que la superficie sembrada de cultivos perennes se concentra en promedio en 5 cultivos. Los portafolios menos diversificados (o más concentrados) correspondieron a los del ciclo P-V y O-I, con IH medios respectivos de 0.369 y 0.325; implicando que la superficie sembrada en ambos ciclos se concentra en promedio en 3 cultivos. El IH de estos portafolios mostró un comportamiento creciente con el tiempo ($IH \rightarrow 1$), lo cual manifiesta que la superficie sembrada en los dos ciclos se concentra cada vez más en un menor número de cultivos (tendencia hacia la especialización).

El análisis del ingreso esperado y riesgo de ingreso indicó que existe una moderada asociación positiva entre el ingreso promedio y el nivel de riesgo de los portafolios agrícolas del ciclo O-I (correlación del 57.81%) y muy alta en el ciclo P-V (correlación del 96.28%), así como una evidente tendencia decreciente de estas variables a través del tiempo en ambos ciclos. Mientras tanto, en los portafolios agrícolas de cultivos perennes dichos indicadores también se correspondieron altamente de forma positiva (correlación del 97.77%), pero su tendencia fue notoriamente creciente.

El análisis de la correspondencia entre riesgos y el índice de Herfindahl destacó que la diversificación del portafolio agrícola es una estrategia útil para reducir significativamente el riesgo de precio en los dos ciclos agrícolas, así como el riesgo de rendimiento e ingreso en cultivos perennes, pero desfavorable para gestionar estos dos últimos tipos de riesgo en el ciclo P-V. Adicionalmente, se percibió que tanto en los portafolios agrícolas de cultivos cíclicos como en los de cultivos perennes, el riesgo de ingreso está determinado básicamente por la variación de los precios (riesgo de mercado). Esto sugiere que para contribuir positivamente a la estabilidad de los ingresos en el distrito se debe poner especial atención a la gestión de las fluctuaciones de los precios (riesgo de mercado) en los tres grupos de cultivos y al aumento de la diversificación principalmente en cultivos perennes.

Los portafolios de mínimo riesgo de ingreso (históricos) identificados en cada grupo de cultivos corresponden a los observados en el año agrícola 2013/14 (ciclo O-I), 2020/21 (ciclo P-V) y 1998/99 (cultivos perennes) y constituyen también una alternativa factible para minimizar la inestabilidad de los ingresos en el distrito.

El estudio se puede enriquecer mediante el cálculo del portafolio óptimo (analítico) para cada grupo de cultivos y con la revisión de su factibilidad desde un punto de vista práctico.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (BIE-INEGI). 2023. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#bodydataExplorer>
- Barman, A., Saha, P., Patel, S. y Bera, A. (2022). Crop Diversification an Effective Strategy for Sustainable Agriculture. *IntechOpen*, 1-18. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102635>
- Basantaray, A. K. y Nancharaiah, G. (2017). Relationship between crop diversification and farm income in Odisha: an empirical analysis. *Agricultural Economics Research Review*, 30(Conference Number), 45-58. DOI: 10.5958/0974-0279.2017.00021.0
- Birthal, P. S., Roy, D. y Negi, D. S. (2015). Assessing the impact of Crop Diversification on Farm Poverty in India. *World Development*, 72, 70-92. DOI: 10.1016/j.worlddev.2015.02.015
- Birthal, P.S. y Hazrana, J. (2019). Crop diversification and resilience of agriculture to climatic shocks: Evidence from India. *Agricultural Systems*, 173, 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.005>
- Chhatre, A., Devalkar, S., y Seshadri, S. (2016). Crop diversification and risk management in Indian agriculture. *Decision*, 43(2), 167-179. <https://doi.org/10.1007/s40622-016-0129-1>
- CONAGUA. 2022. Estadísticas del Agua en México 2021. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/10/EAM_2021.pdf
- Dalal, S. y Shankar, T. (2022). Crop Diversification and its Importance in Agriculture: A Review. *Indian Journal of Natural Sciences*, 13(72), 44540-44548.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) – Economic Research Service (ERS). 2021. *International Agricultural Productivity*. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/>
- Duncan, J. y Myers, R. J. (2000). Crop insurance under catastrophic risk. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(4), 842-855. <https://doi.org/10.1057/9780230226203.0205>
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. 2018. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma. <https://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>
- FAO. 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>

- FAO. 2021. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- FAO. 2023. Versión resumida de Repercusiones de las catástrofes en la agricultura y la seguridad alimentaria 2023: Evitar y reducir las pérdidas mediante la inversión en la resiliencia. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc8500es>
- Harwood, J.L., Heifner, R., Coble, K., Perry, J., y Somwaru, A. (1999). Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Analysis. Agricultural Economic Report No. 774. US Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=40971>
- Komarek, A. M., De Pinto, A., y Smith, V. H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178 (102738). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>
- Kumar, S. y Gupta, S. (2015). Crop Diversification towards High-value Crops in India: A State Level Empirical Analysis. *Agricultural Economics Research Review*, 28(2), 339-350. DOI: 10.5958/0974-0279.2016.00012.4
- Malaisamy, A. (2021). "An Empirical Analysis on Relationship between Crop Diversification and Doubling the Farmers Income". *International Journal of Social Sciences*, 10(3), 225-229. <https://doi.org/10.46852/2249-6637.03.2021.4>
- Mango, N., Makate, C., Mapemba, L., y Sopo, M. (2018). The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi. *Agriculture & Food Security*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0160-x>
- Mithiya D., Mandal K., y Datta L. (2018). Trend, pattern and determinants of crop diversification of small holders in West Bengal: A district-wise panel data analysis. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 10(4), 110-119. <https://doi.org/10.5897/jdae2018.0921>
- Mukherjee, S. (2012). Crop diversification and risk: an empirical analysis of Indian states. *Munich Personal RePEc Archive*, 35947. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/35947/>.
- Mukherjee, S. y Chattopadhyay, S. (2017). Crop diversification in West Bengal: a district level analysis for the period 1980- 81 to 2011-12. *Journal of Rural Development*, 36(4), 501-530.
- Nayak, C. y Kumar, C. R. (2019). Crop diversification in Odisha: an analysis based on panel data. *Agricultural Economics Research Review*, 32(1), 67-80. DOI: 10.5958/0974-0279.2019.00006.5
- Ochieng, J., Kirimi, L., Ochieng, D. O., Njagi, T., Mathenge, M., Gitau, R., y Ayieko, M. (2020). Managing climate risk through crop diversification in rural Kenya. *Climatic Change*, 162, 1107-1125. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02727-0>

- ONU. 2021. Noticias sobre cambio climático y medio ambiente. <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492762#:~:text=La%20Organizaci3n%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20para%20la,insectos%20invasores%20al%20menos%2070.000%20millones%20de%20d3lares.>
- Paroda, R. (2022). Crop Diversification for Sustainable Agriculture. *Ecology, Economy and Society-the INSEE Journal*, 5(1), 15-21. <https://doi.org/10.37773/ees.v5i1.611>
- Preety y Sihmar, R. (2023). Crop diversification in Haryana. *International Journal of Financial Management and Economics*, 6(2), 142-147. <https://doi.org/10.33545/26179210.2023.v6.i2.241>
- Ralte, R., y Priscilla, L. (2023). Crop Diversification in India: A Review. *International Journal of Bioresource Science*, 10(1), 135-142. <https://doi.org/10.30954/2347-9655.01.2023.14>
- Román-Montes de Oca, E., Licea-Resendiz, J. E., y Romero-Torres, F. (2020). Diversificación de ingresos de los productores como estrategias de desarrollo rural. *Entramado*, 16(2), 126-141. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6752>
- Saldaña-Zorrila, S. O. (2015). Assessment of disaster risk management in Mexico. *Disaster Prevention and Management*, 24(2), 230-248. <https://doi.org/10.1108/DPM-11-2013-0201>
- Semarnat y Colegio de Postgraduados. 2003. Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html#2
- Shelton Peter, Y., y Prabakar, C. (2021). Crop diversification and its relevance in risk management in Thiruvavarur district of Tamilnadu, India. *Plant Archives*, 21(1), 2497-2500. <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2021.v21.s1.406>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIACON-SIAP). 2023. <https://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon>
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados de la Secretaría de Economía (SNIIM-SE). 2023. Precios de Frutas, Hortalizas, Vegetales, Carnes, Pescados, Pecuarios, Pesqueros (economia-sniim.gob.mx).
- Singh, R., Babu, S., Avasthe, R. K. y Yadav, G. S. (2018). Crop diversification and intensification for enhancing livelihood security in Sikkim. Published by *ICAR-National Organic Farming Research Institute*, Tadong, Gangtok, Sikkim, India. DOI: 10.13140/RG.2.2.23919.33448
- Solano-Alonso, R., Altamirano-Cárdenas, J. R., Santoyo-Cortés, V. H., y Muñoz-Rodríguez, M. (2021). El seguro agropecuario como instrumento de política pública para la gestión de riesgos en México. *Estudios Sociales*.

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 31(57).
<https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1100>

- Téllez Cabrera, M. R. (2010). Medición del riesgo en crédito: Implementación y cálculo del VaR y el CVaR en tres modelos de incumplimiento. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa]. http://mat.izt.uam.mx/mat/documentos/produccion_academica/toda_la_produccion/Tesis%20dirigidas-45-130.pdf
- Vekariya, D. J., Vekariya, S. B., y Nagani, C. M. (2022). Factors affecting crop diversification. *Gujarat Journal of Extension Education*, 34(1), 46-49. <https://doi.org/10.56572/gjoe.2022.34.1.0009>

APÉNDICES

Apéndice A. Tablas de cálculo de las tasas de crecimiento acumuladas de la inflación y precios de algunos productos agrícolas en México (1980-2021).

Tabla 1. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio del arroz.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMRN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMRR (\$/ton)
1980	29.85	0.30	1.00	5.88	-	-	1.00	5.88
1981	28.68	0.29	1.29	6.82	15.99	0.16	1.16	5.30
1982	98.84	0.99	2.56	9.71	42.38	0.42	1.65	3.79
1983	80.78	0.81	4.63	21.95	126.06	1.26	3.73	4.75
1984	59.16	0.59	7.36	37.42	70.48	0.70	6.36	5.08
1985	63.75	0.64	12.06	58.75	57.00	0.57	9.99	4.87
1986	105.75	1.06	24.80	101.87	73.40	0.73	17.32	4.11
1987	159.17	1.59	64.28	245.60	141.09	1.41	41.77	3.82
1988	51.66	0.52	97.49	396.16	61.30	0.61	67.37	4.06
1989	19.70	0.20	116.70	501.39	26.56	0.27	85.27	4.30
1990	29.93	0.30	151.63	559.17	11.52	0.12	95.10	3.69
1991	18.79	0.19	180.12	610.73	9.22	0.09	103.87	3.39
1992	11.94	0.12	201.63	567.22	-7.12	-0.07	96.47	2.81
1993	8.01	0.08	217.78	544.33	-4.04	-0.04	92.57	2.50
1994	7.05	0.07	233.13	687.80	26.36	0.26	116.97	2.95
1995	51.97	0.52	354.29	1,066.10	55.00	0.55	181.31	3.01
1996	27.70	0.28	452.42	1,616.62	51.64	0.52	274.94	3.57
1997	15.72	0.16	523.54	1,516.13	-6.22	-0.06	257.85	2.90
1998	18.61	0.19	620.97	1,640.47	8.20	0.08	278.99	2.64
1999	12.32	0.12	697.48	1,775.72	8.24	0.08	301.99	2.55
2000	8.96	0.09	759.97	1,467.37	-17.36	-0.17	249.55	1.93
2001	4.40	0.04	793.41	1,481.03	0.93	0.01	251.88	1.87
2002	5.70	0.06	838.64	1,639.20	10.68	0.11	278.78	1.95
2003	3.98	0.04	872.01	1,661.70	1.37	0.01	282.60	1.91
2004	5.19	0.05	917.27	1,816.61	9.32	0.09	308.95	1.98
2005	3.33	0.03	947.82	1,903.65	4.79	0.05	323.75	2.01
2006	4.05	0.04	986.20	1,906.23	0.14	0.00	324.19	1.93
2007	3.76	0.04	1,023.28	2,076.20	8.92	0.09	353.10	2.03
2008	6.53	0.07	1,090.10	3,626.64	74.68	0.75	616.78	3.33
2009	3.57	0.04	1,129.02	3,442.32	-5.08	-0.05	585.43	3.05
2010	4.40	0.04	1,178.70	3,176.20	-7.73	-0.08	540.17	2.69
2011	3.82	0.04	1,223.72	3,767.38	18.61	0.19	640.71	3.08
2012	3.57	0.04	1,267.41	3,774.95	0.20	0.00	642.00	2.98
2013	3.97	0.04	1,317.73	3,914.19	3.69	0.04	665.68	2.97
2014	4.08	0.04	1,371.49	3,968.16	1.38	0.01	674.86	2.89
2015	2.13	0.02	1,400.70	3,592.82	-9.46	-0.09	611.02	2.57
2016	3.36	0.03	1,447.77	3,841.21	6.91	0.07	653.27	2.65
2017	6.77	0.07	1,545.78	4,081.70	6.26	0.06	694.17	2.64
2018	4.83	0.05	1,620.44	4,477.39	9.69	0.10	761.46	2.76
2019	2.83	0.03	1,666.30	4,543.83	1.48	0.01	772.76	2.73
2020	3.15	0.03	1,718.79	4,987.53	9.76	0.10	848.22	2.90
2021	7.36	0.07	1,845.29	5,213.29	4.53	0.05	886.61	2.83

Nota: TCPMRR (1980-2021) = -51.95%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023.

Tabla 2. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio de la copra.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMRN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMRR (\$/ton)
1980	29.85	0.30	1.00	10.81	-	-	1.00	10.81
1981	28.68	0.29	1.29	14.52	34.32	0.34	1.34	11.28
1982	98.84	0.99	2.56	21.64	49.04	0.49	2.00	8.46
1983	80.78	0.81	4.63	33.74	55.91	0.56	3.12	7.29
1984	59.16	0.59	7.36	92.83	175.13	1.75	8.59	12.61
1985	63.75	0.64	12.06	138.76	49.48	0.49	12.84	11.51
1986	105.75	1.06	24.80	187.97	35.46	0.35	17.39	7.58
1987	159.17	1.59	64.28	349.27	85.81	0.86	32.31	5.43
1988	51.66	0.52	97.49	537.32	53.84	0.54	49.71	5.51
1989	19.70	0.20	116.70	621.21	15.61	0.16	57.47	5.32
1990	29.93	0.30	151.63	825.99	32.96	0.33	76.41	5.45
1991	18.79	0.19	180.12	1,076.35	30.31	0.30	99.57	5.98
1992	11.94	0.12	201.63	1,226.38	13.94	0.14	113.45	6.08
1993	8.01	0.08	217.78	1,219.04	-0.60	-0.01	112.77	5.60
1994	7.05	0.07	233.13	1,305.47	7.09	0.07	120.77	5.60
1995	51.97	0.52	354.29	2,314.77	77.31	0.77	214.13	6.53
1996	27.70	0.28	452.42	3,578.00	54.57	0.55	330.99	7.91
1997	15.72	0.16	523.54	3,407.83	-4.76	-0.05	315.25	6.51
1998	18.61	0.19	620.97	3,510.68	3.02	0.03	324.76	5.65
1999	12.32	0.12	697.48	4,324.85	23.19	0.23	400.08	6.20
2000	8.96	0.09	759.97	3,361.06	-22.28	-0.22	310.92	4.42
2001	4.40	0.04	793.41	2,976.87	-11.43	-0.11	275.38	3.75
2002	5.70	0.06	838.64	3,700.13	24.30	0.24	342.29	4.41
2003	3.98	0.04	872.01	3,915.78	5.83	0.06	362.24	4.49
2004	5.19	0.05	917.27	4,396.28	12.27	0.12	406.69	4.79
2005	3.33	0.03	947.82	4,516.37	2.73	0.03	417.80	4.77
2006	4.05	0.04	986.20	4,595.31	1.75	0.02	425.10	4.66
2007	3.76	0.04	1,023.28	5,203.65	13.24	0.13	481.37	5.09
2008	6.53	0.07	1,090.10	5,525.35	6.18	0.06	511.13	5.07
2009	3.57	0.04	1,129.02	4,913.11	-11.08	-0.11	454.50	4.35
2010	4.40	0.04	1,178.70	5,073.07	3.26	0.03	469.29	4.30
2011	3.82	0.04	1,223.72	5,670.45	11.78	0.12	524.56	4.63
2012	3.57	0.04	1,267.41	5,699.13	0.51	0.01	527.21	4.50
2013	3.97	0.04	1,317.73	6,316.94	10.84	0.11	584.36	4.79
2014	4.08	0.04	1,371.49	7,180.30	13.67	0.14	664.23	5.24
2015	2.13	0.02	1,400.70	7,409.11	3.19	0.03	685.39	5.29
2016	3.36	0.03	1,447.77	7,873.86	6.27	0.06	728.39	5.44
2017	6.77	0.07	1,545.78	8,855.55	12.47	0.12	819.20	5.73
2018	4.83	0.05	1,620.44	8,711.10	-1.63	-0.02	805.84	5.38
2019	2.83	0.03	1,666.30	8,537.87	-1.99	-0.02	789.81	5.12
2020	3.15	0.03	1,718.79	8,422.05	-1.36	-0.01	779.10	4.90
2021	7.36	0.07	1,845.29	8,393.21	-0.34	0.00	776.43	4.55

Nota: TCPMRR (1980-2021) = -57.92%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023.

Tabla 3. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio del melón.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMRN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMRR (\$/ton)
1980	29.85	0.30	1.00	4.05	-	-	1.00	4.05
1981	28.68	0.29	1.29	5.02	23.95	0.24	1.24	3.90
1982	98.84	0.99	2.56	9.07	80.68	0.81	2.24	3.54
1983	80.78	0.81	4.63	19.49	114.88	1.15	4.81	4.21
1984	59.16	0.59	7.36	31.39	61.06	0.61	7.75	4.26
1985	63.75	0.64	12.06	47.52	51.39	0.51	11.73	3.94
1986	105.75	1.06	24.80	80.69	69.80	0.70	19.92	3.25
1987	159.17	1.59	64.28	217.87	170.01	1.70	53.80	3.39
1988	51.66	0.52	97.49	420.26	92.89	0.93	103.77	4.31
1989	19.70	0.20	116.70	599.72	42.70	0.43	148.08	5.14
1990	29.93	0.30	151.63	641.03	6.89	0.07	158.28	4.23
1991	18.79	0.19	180.12	854.61	33.32	0.33	211.01	4.74
1992	11.94	0.12	201.63	866.89	1.44	0.01	214.05	4.30
1993	8.01	0.08	217.78	1,021.29	17.81	0.18	252.17	4.69
1994	7.05	0.07	233.13	1,041.74	2.00	0.02	257.22	4.47
1995	51.97	0.52	354.29	1,191.55	14.38	0.14	294.21	3.36
1996	27.70	0.28	452.42	1,814.52	52.28	0.52	448.03	4.01
1997	15.72	0.16	523.54	1,613.74	-11.07	-0.11	398.45	3.08
1998	18.61	0.19	620.97	2,119.69	31.35	0.31	523.38	3.41
1999	12.32	0.12	697.48	2,161.66	1.98	0.02	533.74	3.10
2000	8.96	0.09	759.97	2,131.34	-1.40	-0.01	526.26	2.80
2001	4.40	0.04	793.41	2,231.74	4.71	0.05	551.05	2.81
2002	5.70	0.06	838.64	2,273.07	1.85	0.02	561.25	2.71
2003	3.98	0.04	872.01	2,549.76	12.17	0.12	629.57	2.92
2004	5.19	0.05	917.27	3,085.00	20.99	0.21	761.73	3.36
2005	3.33	0.03	947.82	2,975.72	-3.54	-0.04	734.75	3.14
2006	4.05	0.04	986.20	2,857.89	-3.96	-0.04	705.65	2.90
2007	3.76	0.04	1,023.28	2,939.30	2.85	0.03	725.75	2.87
2008	6.53	0.07	1,090.10	2,897.11	-1.44	-0.01	715.34	2.66
2009	3.57	0.04	1,129.02	3,196.90	10.35	0.10	789.36	2.83
2010	4.40	0.04	1,178.70	3,249.73	1.65	0.02	802.40	2.76
2011	3.82	0.04	1,223.72	3,161.46	-2.72	-0.03	780.61	2.58
2012	3.57	0.04	1,267.41	3,968.69	25.53	0.26	979.92	3.13
2013	3.97	0.04	1,317.73	3,856.11	-2.84	-0.03	952.13	2.93
2014	4.08	0.04	1,371.49	4,831.07	25.28	0.25	1,192.86	3.52
2015	2.13	0.02	1,400.70	4,130.85	-14.49	-0.14	1,019.96	2.95
2016	3.36	0.03	1,447.77	4,759.14	15.21	0.15	1,175.10	3.29
2017	6.77	0.07	1,545.78	4,630.32	-2.71	-0.03	1,143.29	3.00
2018	4.83	0.05	1,620.44	4,467.40	-3.52	-0.04	1,103.06	2.76
2019	2.83	0.03	1,666.30	4,748.41	6.29	0.06	1,172.45	2.85
2020	3.15	0.03	1,718.79	4,876.75	2.70	0.03	1,204.14	2.84
2021	7.36	0.07	1,845.29	5,657.14	16.00	0.16	1,396.82	3.07

Nota: TCPMRR (1980-2021) = -24.30%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023.

Tabla 4. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio de la naranja.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMRN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMRR (\$/ton)
1980	29.85	0.30	1.00	2.90	-	-	1.00	2.90
1981	28.68	0.29	1.29	3.73	28.62	0.29	1.29	2.90
1982	98.84	0.99	2.56	6.13	64.34	0.64	2.11	2.40
1983	80.78	0.81	4.63	13.26	116.31	1.16	4.57	2.87
1984	59.16	0.59	7.36	25.49	92.23	0.92	8.79	3.46
1985	63.75	0.64	12.06	25.36	-0.51	-0.01	8.74	2.10
1986	105.75	1.06	24.80	37.09	46.25	0.46	12.79	1.50
1987	159.17	1.59	64.28	76.98	107.55	1.08	26.54	1.20
1988	51.66	0.52	97.49	198.74	158.17	1.58	68.53	2.04
1989	19.70	0.20	116.70	240.26	20.89	0.21	82.85	2.06
1990	29.93	0.30	151.63	424.61	76.73	0.77	146.42	2.80
1991	18.79	0.19	180.12	483.88	13.96	0.14	166.86	2.69
1992	11.94	0.12	201.63	514.26	6.28	0.06	177.33	2.55
1993	8.01	0.08	217.78	538.99	4.81	0.05	185.86	2.47
1994	7.05	0.07	233.13	311.12	-42.28	-0.42	107.28	1.33
1995	51.97	0.52	354.29	559.75	79.91	0.80	193.02	1.58
1996	27.70	0.28	452.42	696.32	24.40	0.24	240.11	1.54
1997	15.72	0.16	523.54	591.07	-15.12	-0.15	203.82	1.13
1998	18.61	0.19	620.97	777.32	31.51	0.32	268.04	1.25
1999	12.32	0.12	697.48	1,088.99	40.10	0.40	375.51	1.56
2000	8.96	0.09	759.97	794.30	-27.06	-0.27	273.90	1.05
2001	4.40	0.04	793.41	605.01	-23.83	-0.24	208.62	0.76
2002	5.70	0.06	838.64	707.41	16.93	0.17	243.93	0.84
2003	3.98	0.04	872.01	888.50	25.60	0.26	306.38	1.02
2004	5.19	0.05	917.27	784.48	-11.71	-0.12	270.51	0.86
2005	3.33	0.03	947.82	652.06	-16.88	-0.17	224.85	0.69
2006	4.05	0.04	986.20	932.46	43.00	0.43	321.54	0.95
2007	3.76	0.04	1,023.28	1,070.76	14.83	0.15	369.23	1.05
2008	6.53	0.07	1,090.10	949.50	-11.32	-0.11	327.41	0.87
2009	3.57	0.04	1,129.02	992.19	4.50	0.04	342.13	0.88
2010	4.40	0.04	1,178.70	1,203.71	21.32	0.21	415.07	1.02
2011	3.82	0.04	1,223.72	1,447.14	20.22	0.20	499.01	1.18
2012	3.57	0.04	1,267.41	1,642.89	13.53	0.14	566.51	1.30
2013	3.97	0.04	1,317.73	1,249.95	-23.92	-0.24	431.02	0.95
2014	4.08	0.04	1,371.49	1,483.97	18.72	0.19	511.71	1.08
2015	2.13	0.02	1,400.70	1,513.53	1.99	0.02	521.91	1.08
2016	3.36	0.03	1,447.77	1,715.72	13.36	0.13	591.63	1.19
2017	6.77	0.07	1,545.78	1,862.24	8.54	0.09	642.15	1.20
2018	4.83	0.05	1,620.44	2,149.95	15.45	0.15	741.36	1.33
2019	2.83	0.03	1,666.30	1,997.34	-7.10	-0.07	688.74	1.20
2020	3.15	0.03	1,718.79	3,006.29	50.51	0.51	1,036.65	1.75
2021	7.36	0.07	1,845.29	2,850.68	-5.18	-0.05	982.99	1.54

Nota: TCPMRR (1980-2021) = -46.73%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SIACON-SIAP, 2023.

Apéndice B. Tablas de cálculo de las tasas de crecimiento acumuladas de la inflación y precios de algunos fertilizantes en México (2000-2021).

Tabla 5. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio de la urea.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMR (\$/ton)
2000	8.96	0.09	1.00	2,174.45	-	-	1.00	2,174.45
2001	4.40	0.04	1.04	1,917.00	-11.84	-0.12	0.88	1,836.21
2002	5.70	0.06	1.10	1,841.82	-3.92	-0.04	0.85	1,669.06
2003	3.98	0.04	1.15	2,616.67	42.07	0.42	1.20	2,280.46
2004	5.19	0.05	1.21	3,767.92	44.00	0.44	1.73	3,121.77
2005	3.33	0.03	1.25	3,686.67	-2.16	-0.02	1.70	2,956.02
2006	4.05	0.04	1.30	3,706.25	0.53	0.01	1.70	2,856.05
2007	3.76	0.04	1.35	4,422.50	19.33	0.19	2.03	3,284.50
2008	6.53	0.07	1.43	6,820.00	54.21	0.54	3.14	4,754.60
2009	3.57	0.04	1.49	4,972.08	-27.10	-0.27	2.29	3,346.83
2010	4.40	0.04	1.55	5,027.50	1.11	0.01	2.31	3,241.51
2011	3.82	0.04	1.61	6,671.67	32.70	0.33	3.07	4,143.32
2012	3.57	0.04	1.67	7,811.67	17.09	0.17	3.59	4,684.08
2013	3.97	0.04	1.73	6,505.42	-16.72	-0.17	2.99	3,751.87
2014	4.08	0.04	1.80	5,888.75	-9.48	-0.09	2.71	3,263.08
2015	2.13	0.02	1.84	6,274.17	6.54	0.07	2.89	3,404.14
2016	3.36	0.03	1.91	6,097.92	-2.81	-0.03	2.80	3,200.96
2017	6.77	0.07	2.03	6,985.00	14.55	0.15	3.21	3,434.13
2018	4.83	0.05	2.13	7,128.33	2.05	0.02	3.28	3,343.12
2019	2.83	0.03	2.19	7,411.67	3.97	0.04	3.41	3,380.34
2020	3.15	0.03	2.26	7,450.00	0.52	0.01	3.43	3,294.06
2021	7.36	0.07	2.43	12,643.18	69.71	0.70	5.81	5,207.02

Nota: TCPMR (2000-2021) = 139.46%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023.

Tabla 6. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio del superfosfato triple.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMR (\$/ton)
2000	8.96	0.09	1.00	2,566.80	-	-	1.00	2,566.80
2001	4.40	0.04	1.04	2,113.64	-17.65	-0.18	0.82	2,024.56
2002	5.70	0.06	1.10	1,999.09	-5.42	-0.05	0.78	1,811.58
2003	3.98	0.04	1.15	2,310.42	15.57	0.16	0.90	2,013.56
2004	5.19	0.05	1.21	3,299.58	42.81	0.43	1.29	2,733.75
2005	3.33	0.03	1.25	2,870.83	-12.99	-0.13	1.12	2,301.88
2006	4.05	0.04	1.30	2,893.33	0.78	0.01	1.13	2,229.62
2007	3.76	0.04	1.35	3,825.00	32.20	0.32	1.49	2,840.75
2008	6.53	0.07	1.43	8,315.00	117.39	1.17	3.24	5,796.85
2009	3.57	0.04	1.49	5,462.50	-34.31	-0.34	2.13	3,676.95
2010	4.40	0.04	1.55	5,211.67	-4.59	-0.05	2.03	3,360.25
2011	3.82	0.04	1.61	6,760.00	29.71	0.30	2.63	4,198.18
2012	3.57	0.04	1.67	7,423.33	9.81	0.10	2.89	4,451.22
2013	3.97	0.04	1.73	7,024.17	-5.38	-0.05	2.74	4,051.05
2014	4.08	0.04	1.80	6,635.83	-5.53	-0.06	2.59	3,677.06
2015	2.13	0.02	1.84	7,155.00	7.82	0.08	2.79	3,882.05
2016	3.36	0.03	1.91	7,459.17	4.25	0.04	2.91	3,915.52
2017	6.77	0.07	2.03	7,423.33	-0.48	0.00	2.89	3,649.63
2018	4.83	0.05	2.13	8,303.63	11.86	0.12	3.24	3,894.32
2019	2.83	0.03	2.19	8,570.83	3.22	0.03	3.34	3,909.02
2020	3.15	0.03	2.26	8,340.91	-2.68	-0.03	3.25	3,687.98
2021	7.36	0.07	2.43	11,393.64	36.60	0.37	4.44	4,692.40

Nota: TCPMR (2000-2021) = 82.81%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023.

Tabla 7. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio del cloruro de potasio.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMR (\$/ton)
2000	8.96	0.09	1.00	2,458.70	-	-	1.00	2,458.70
2001	4.40	0.04	1.04	2,077.36	-15.51	-0.16	0.84	1,989.81
2002	5.70	0.06	1.10	1,938.18	-6.70	-0.07	0.79	1,756.38
2003	3.98	0.04	1.15	2,342.50	20.86	0.21	0.95	2,041.52
2004	5.19	0.05	1.21	3,434.00	46.60	0.47	1.40	2,845.12
2005	3.33	0.03	1.25	3,087.92	-10.08	-0.10	1.26	2,475.94
2006	4.05	0.04	1.30	3,103.33	0.50	0.00	1.26	2,391.44
2007	3.76	0.04	1.35	3,569.58	15.02	0.15	1.45	2,651.06
2008	6.53	0.07	1.43	7,217.92	102.21	1.02	2.94	5,032.01
2009	3.57	0.04	1.49	10,436.67	44.59	0.45	4.24	7,025.18
2010	4.40	0.04	1.55	6,766.67	-35.16	-0.35	2.75	4,362.85
2011	3.82	0.04	1.61	7,086.25	4.72	0.05	2.88	4,400.79
2012	3.57	0.04	1.67	8,212.50	15.89	0.16	3.34	4,924.43
2013	3.97	0.04	1.73	7,613.33	-7.30	-0.07	3.10	4,390.84
2014	4.08	0.04	1.80	6,931.67	-8.95	-0.09	2.82	3,840.99
2015	2.13	0.02	1.84	6,920.83	-0.16	0.00	2.81	3,755.00
2016	3.36	0.03	1.91	6,780.83	-2.02	-0.02	2.76	3,559.44
2017	6.77	0.07	2.03	6,669.17	-1.65	-0.02	2.71	3,278.85
2018	4.83	0.05	2.13	7,283.75	9.22	0.09	2.96	3,416.01
2019	2.83	0.03	2.19	7,905.00	8.53	0.09	3.22	3,605.34
2020	3.15	0.03	2.26	7,986.36	1.03	0.01	3.25	3,531.22
2021	7.36	0.07	2.43	11,409.09	42.86	0.43	4.64	4,698.77

Nota: TCPMR (2000-2021) = 91.11%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023.

Tabla 8. Cálculo de las tasas de crecimiento de la inflación y precio del triple 17.

Año	INPC (%)	INPC (u)	INPC (uac)	PMN (\$/ton)	TC% PMRN	TCu PMRN	TCuac PMRN	PMR (\$/ton)
2000	8.96	0.09	1.00	2,360.50	-	-	1.00	2,360.50
2001	4.40	0.04	1.04	2,376.36	0.67	0.01	1.01	2,276.21
2002	5.70	0.06	1.10	2,284.55	-3.86	-0.04	0.97	2,070.26
2003	3.98	0.04	1.15	2,616.67	14.54	0.15	1.11	2,280.46
2004	5.19	0.05	1.21	3,186.25	21.77	0.22	1.35	2,639.86
2005	3.33	0.03	1.25	3,450.83	8.30	0.08	1.46	2,766.93
2006	4.05	0.04	1.30	3,513.75	1.82	0.02	1.49	2,707.71
2007	3.76	0.04	1.35	4,040.42	14.99	0.15	1.71	3,000.74
2008	6.53	0.07	1.43	7,800.42	93.06	0.93	3.30	5,438.11
2009	3.57	0.04	1.49	6,866.25	-11.98	-0.12	2.91	4,621.85
2010	4.40	0.04	1.55	6,321.67	-7.93	-0.08	2.68	4,075.93
2011	3.82	0.04	1.61	7,058.75	11.66	0.12	2.99	4,383.71
2012	3.57	0.04	1.67	8,205.42	16.24	0.16	3.48	4,920.18
2013	3.97	0.04	1.73	7,488.33	-8.74	-0.09	3.17	4,318.74
2014	4.08	0.04	1.80	7,070.00	-5.59	-0.06	3.00	3,917.64
2015	2.13	0.02	1.84	7,780.83	10.05	0.10	3.30	4,221.61
2016	3.36	0.03	1.91	7,855.42	0.96	0.01	3.33	4,123.52
2017	6.77	0.07	2.03	7,956.67	1.29	0.01	3.37	3,911.84
2018	4.83	0.05	2.13	8,393.75	5.49	0.05	3.56	3,936.59
2019	2.83	0.03	2.19	8,495.00	1.21	0.01	3.60	3,874.43
2020	3.15	0.03	2.26	9,168.64	7.93	0.08	3.88	4,053.97
2021	7.36	0.07	2.43	11,628.64	26.83	0.27	4.93	4,789.18

Nota: TCPMR (2000-2021) = 102.89%.

Fuente: Elaboración propia con datos de BIE-INEGI y SNIIM-SE, 2023.

Apéndice C. Matrices de varianzas y covarianzas de rendimientos, precios e ingresos en el ciclo otoño-invierno del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Tabla 9. Matriz de varianzas y covarianzas de rendimientos (ton/ha) de cultivos del ciclo O-I.

	Arroz	Cebolla	Chile	Jitomate	Maíz e.	Maíz f.	Maíz g.	Melón	Pepino	Sandía	Sorgo f.	Sorgo g.	Tomate
Arroz	0.184	-0.779	-0.899	-1.015	0.096	-2.348	0.134	-2.360	-0.569	0.065	-0.520	-0.134	0.214
Cebolla	-0.779	81.432	21.749	33.468	-1.610	10.679	-1.078	0.208	22.075	-22.654	3.888	-0.924	-5.290
Chile	-0.899	21.749	36.918	-1.697	0.245	-5.843	0.701	3.614	3.140	-16.786	-0.779	0.101	4.639
Jitomate	-1.015	33.468	-1.697	74.887	-0.211	-3.360	2.068	2.372	17.087	-4.140	-17.633	-0.195	38.262
Maíz e.	0.096	-1.610	0.245	-0.211	0.893	3.149	0.299	0.760	2.646	2.215	-2.950	-0.196	2.411
Maíz f.	-2.348	10.679	-5.843	-3.360	3.149	63.296	-3.094	5.480	10.647	1.988	18.716	-0.883	-17.649
Maíz g.	0.134	-1.078	0.701	2.068	0.299	-3.094	0.909	-0.473	2.042	-0.308	-8.813	0.000	7.091
Melón	-2.360	0.208	3.614	2.372	0.760	5.480	-0.473	25.099	3.148	10.420	-0.963	1.134	5.273
Pepino	-0.569	22.075	3.140	17.087	2.646	10.647	2.042	3.148	20.674	-0.269	-30.483	-0.632	19.344
Sandía	0.065	-22.654	-16.786	-4.140	2.215	1.988	-0.308	10.420	-0.269	67.945	-8.162	0.554	-2.826
Sorgo f.	-0.520	3.888	-0.779	-17.633	-2.950	18.716	-8.813	-0.963	-30.483	-8.162	134.839	-0.643	-73.393
Sorgo g.	-0.134	-0.924	0.101	-0.195	-0.196	-0.883	0.000	1.134	-0.632	0.554	-0.643	0.651	0.532
Tomate	0.214	-5.290	4.639	38.262	2.411	-17.649	7.091	5.273	19.344	-2.826	-73.393	0.532	66.544

Nota: e. = elotero; f. = forrajero; g. = grano. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Tabla 10. Matriz de varianzas y covarianzas de precios reales (miles\$/ton) de cultivos del ciclo O-I.

	Arroz	Cebolla	Chile	Jitomate	Maíz e.	Maíz f.	Maíz g.	Melón	Pepino	Sandía	Sorgo f.	Sorgo g.	Tomate
Arroz	0.336	1.392	-0.142	-0.403	-0.067	-0.008	-0.073	-1.083	-0.294	-0.172	0.006	0.770	-0.317
Cebolla	1.392	4.585	0.631	0.405	-0.296	-0.004	-0.059	-1.229	-0.392	-0.443	-0.007	0.480	0.171
Chile	-0.142	0.631	1.869	-0.308	-0.317	-0.068	-0.152	0.087	-0.489	0.316	-0.077	-0.529	0.189
Jitomate	-0.403	0.405	-0.308	1.982	-0.347	0.011	-0.246	0.057	-0.012	-0.901	-0.023	-0.550	-0.225
Maíz e.	-0.067	-0.296	-0.317	-0.347	0.240	0.014	0.093	0.077	0.253	0.200	0.067	0.104	0.201
Maíz f.	-0.008	-0.004	-0.068	0.011	0.014	0.013	0.035	-0.012	0.030	-0.004	0.007	0.020	-0.022
Maíz g.	-0.073	-0.059	-0.152	-0.246	0.093	0.035	0.578	0.041	0.054	0.262	0.008	0.099	0.131
Melón	-1.083	-1.229	0.087	0.057	0.077	-0.012	0.041	1.512	0.027	0.274	-0.020	-0.103	0.473
Pepino	-0.294	-0.392	-0.489	-0.012	0.253	0.030	0.054	0.027	0.509	0.131	0.115	-0.117	0.171
Sandía	-0.172	-0.443	0.316	-0.901	0.200	-0.004	0.262	0.274	0.131	0.914	0.025	0.056	0.478
Sorgo f.	0.006	-0.007	-0.077	-0.023	0.067	0.007	0.008	-0.020	0.115	0.025	0.081	-0.001	0.063
Sorgo g.	0.770	0.480	-0.529	-0.550	0.104	0.020	0.099	-0.103	-0.117	0.056	-0.001	0.956	0.027
Tomate	-0.317	0.171	0.189	-0.225	0.201	-0.022	0.131	0.473	0.171	0.478	0.063	0.027	1.689

Nota: e. = elotero; f. = forrajero; g. = grano. Año base 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Tabla 11. Matriz de varianzas y covarianzas de ingresos reales (miles\$/ha) de cultivos del ciclo O-I.

	Arroz	Cebolla	Chile	Jitomate	Maíz e.	Maíz f.	Maíz g.	Melón	Pepino	Sandía	Sorgo f.	Sorgo g.	Tomate
Arroz	14.04	151.99	-15.60	-94.85	-7.99	-11.88	1.40	-314.79	-46.55	-56.93	1.07	20.87	-9.24
Cebolla	151.99	2772.93	2105.06	238.90	-30.60	-13.94	15.41	-843.14	153.17	8.44	-7.79	-52.20	-20.38
Chile	-15.60	2105.06	3629.11	-240.66	-190.59	-186.26	-38.70	-62.58	-414.57	-37.21	-30.85	-54.91	-769.96
Jitomate	-94.85	238.90	-240.66	2064.22	-42.41	-18.42	-73.02	-314.30	286.74	-728.34	-6.58	-160.14	441.78
Maíz e.	-7.99	-30.60	-190.59	-42.41	89.73	17.61	38.12	90.17	228.70	229.12	-4.62	12.02	314.20
Maíz f.	-11.88	-13.94	-186.26	-18.42	17.61	49.66	7.48	11.02	64.36	-5.63	20.00	-0.30	-111.61
Maíz g.	1.40	15.41	-38.70	-73.02	38.12	7.48	33.54	13.88	112.00	100.59	-7.95	5.62	184.42
Melón	-314.79	-843.14	-62.58	-314.30	90.17	11.02	13.88	3025.45	13.96	848.39	-23.31	15.12	361.34
Pepino	-46.55	153.17	-414.57	286.74	228.70	64.36	112.00	13.96	954.10	426.23	-24.68	-22.96	909.45
Sandía	-56.93	8.44	-37.21	-728.34	229.12	-5.63	100.59	848.39	426.23	3420.59	-136.04	76.26	580.34
Sorgo f.	1.07	-7.79	-30.85	-6.58	-4.62	20.00	-7.95	-23.31	-24.68	-136.04	25.17	3.14	-124.73
Sorgo g.	20.87	-52.20	-54.91	-160.14	12.02	-0.30	5.62	15.12	-22.96	76.26	3.14	35.36	36.19
Tomate	-9.24	-20.38	-769.96	441.78	314.20	-111.61	184.42	361.34	909.45	580.34	-124.73	36.19	2957.00

Nota: e. = elotero; f. = forrajero; g. = grano. Año base 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Apéndice D. Matrices de varianzas y covarianzas de rendimientos, precios e ingresos en el ciclo primavera-verano del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Tabla 12. Matriz de varianzas y covarianzas de rendimientos (ton/ha) de cultivos del ciclo P-V.

	Arroz	Chile	Jitomate	Maíz e.	Maíz f.	Maíz g.	Melón	Pepino	Sandía	Sorgo f.	Sorgo g.	Tomate
Arroz	0.564	4.814	7.031	0.073	0.607	0.447	1.799	1.741	-0.443	-3.256	-0.093	2.434
Chile	4.814	105.016	64.228	-1.454	-0.454	4.846	16.206	22.648	-3.701	-17.389	-0.584	16.566
Jitomate	7.031	64.228	162.877	16.247	11.838	4.571	12.268	33.107	22.907	-18.719	7.736	44.705
Maíz e.	0.073	-1.454	16.247	5.017	2.886	0.062	-4.862	1.104	1.730	3.328	0.561	1.216
Maíz f.	0.607	-0.454	11.838	2.886	44.930	-0.937	-12.220	3.618	17.012	17.389	-0.019	0.404
Maíz g.	0.447	4.846	4.571	0.062	-0.937	0.576	1.203	1.245	-0.781	-3.532	-0.199	1.848
Melón	1.799	16.206	12.268	-4.862	-12.220	1.203	54.135	3.308	25.805	-11.225	5.198	21.062
Pepino	1.741	22.648	33.107	1.104	3.618	1.245	3.308	11.216	-3.222	-4.918	-0.434	5.413
Sandía	-0.443	-3.701	22.907	1.730	17.012	-0.781	25.805	-3.222	62.163	7.379	5.131	12.738
Sorgo f.	-3.256	-17.389	-18.719	3.328	17.389	-3.532	-11.225	-4.918	7.379	44.175	1.618	-14.317
Sorgo g.	-0.093	-0.584	7.736	0.561	-0.019	-0.199	5.198	-0.434	5.131	1.618	1.220	2.437
Tomate	2.434	16.566	44.705	1.216	0.404	1.848	21.062	5.413	12.738	-14.317	2.437	19.598

Nota: e. = elotero; f. = forrajero; g. = grano. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Tabla 13. Matriz de varianzas y covarianzas de precios reales (miles\$/ton) de cultivos del ciclo P-V.

	Arroz	Chile	Jitomate	Maíz e.	Maíz f.	Maíz g.	Melón	Pepino	Sandía	Sorgo f.	Sorgo g.	Tomate
Arroz	0.473	-0.469	-0.591	0.162	0.002	0.434	-0.047	0.188	0.279	-0.005	0.186	-0.111
Chile	-0.469	1.816	0.751	-0.285	0.009	-0.511	0.155	-0.289	-0.449	0.014	-0.154	0.226
Jitomate	-0.591	0.751	6.175	-0.248	0.001	-0.466	1.820	-0.211	0.765	-0.004	-0.030	0.004
Maíz e.	0.162	-0.285	-0.248	0.192	0.011	0.288	0.150	0.099	0.210	0.005	0.142	0.009
Maíz f.	0.002	0.009	0.001	0.011	0.010	0.028	-0.024	-0.008	-0.024	0.004	0.008	0.009
Maíz g.	0.434	-0.511	-0.466	0.288	0.028	0.940	-0.101	0.268	0.462	0.014	0.145	-0.260
Melón	-0.047	0.155	1.820	0.150	-0.024	-0.101	1.712	-0.042	0.430	-0.002	0.002	1.113
Pepino	0.188	-0.289	-0.211	0.099	-0.008	0.268	-0.042	0.363	0.423	-0.012	0.013	0.267
Sandía	0.279	-0.449	0.765	0.210	-0.024	0.462	0.430	0.423	0.868	-0.016	0.166	-0.419
Sorgo f.	-0.005	0.014	-0.004	0.005	0.004	0.014	-0.002	-0.012	-0.016	0.003	0.012	-0.002
Sorgo g.	0.186	-0.154	-0.030	0.142	0.008	0.145	0.002	0.013	0.166	0.012	0.423	-0.234
Tomate	-0.111	0.226	0.004	0.009	0.009	-0.260	1.113	0.267	-0.419	-0.002	-0.234	2.602

Nota: e. = elotero; f. = forrajero; g. = grano. Año base 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Tabla 14. Matriz de varianzas y covarianzas de ingresos reales (miles\$/ha) de cultivos del ciclo P-V.

	Arroz	Chile	Jitomate	Maíz e.	Maíz f.	Maíz g.	Melón	Pepino	Sandía	Sorgo f.	Sorgo g.	Tomate
Arroz	34.26	64.87	114.12	23.30	6.35	27.68	77.05	76.17	188.90	-9.74	7.38	115.54
Chile	64.87	3951.08	886.51	51.37	64.43	124.51	-903.15	182.32	-545.70	80.56	-13.77	77.85
Jitomate	114.12	886.51	4400.85	265.83	-38.75	129.57	1666.56	653.37	857.80	-19.91	86.22	1420.95
Maíz e.	23.30	51.37	265.83	57.81	10.57	33.11	211.67	71.64	236.01	-0.59	24.37	146.15
Maíz f.	6.35	64.43	-38.75	10.57	19.92	10.49	-26.98	4.89	-24.16	1.75	-5.70	38.54
Maíz g.	27.68	124.51	129.57	33.11	10.49	49.39	46.70	78.86	153.85	-4.12	1.42	68.08
Melón	77.05	-903.15	1666.56	211.67	-26.98	46.70	3194.65	118.27	1487.85	-5.89	233.24	1640.70
Pepino	76.17	182.32	653.37	71.64	4.89	78.86	118.27	366.40	691.72	-25.16	2.80	395.66
Sandía	188.90	-545.70	857.80	236.01	-24.16	153.85	1487.85	691.72	2909.00	-46.32	190.20	352.73
Sorgo f.	-9.74	80.56	-19.91	-0.59	1.75	-4.12	-5.89	-25.16	-46.32	12.37	0.78	-42.83
Sorgo g.	7.38	-13.77	86.22	24.37	-5.70	1.42	233.24	2.80	190.20	0.78	27.50	104.32
Tomate	115.54	77.85	1420.95	146.15	38.54	68.08	1640.70	395.66	352.73	-42.83	104.32	2059.17

Nota: e. = elotero; f. = forrajero; g. = grano. Año base 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Apéndice E. Matrices de varianzas y covarianzas de rendimientos, precios e ingresos en cultivos perennes del DR 053 Estado de Colima (1997/98-2021/22).

Tabla 15. Matriz de varianzas y covarianzas de rendimientos (ton/ha) de cultivos perennes.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	ñ	o	p	q	r
a	76.45	-4.94	3.95	-8.45	-0.36	-316.63	0.55	-5.92	-2.45	-5.70	-14.50	-84.30	-5.62	15.46	26.55	7.33	4.39	8.05	4.34
b	-4.94	8.32	0.17	17.04	16.67	-13.58	-2.21	14.00	0.95	12.60	2.23	-3.23	8.79	2.35	-25.92	-13.72	-22.79	-2.16	-0.84
c	3.95	0.17	4.01	-2.01	1.78	-35.41	0.07	0.03	-1.38	-0.01	0.20	-1.95	-1.04	3.73	12.40	0.05	9.53	0.57	1.43
d	-8.45	17.04	-2.01	114.05	35.23	-823.05	1.36	33.34	12.72	37.91	-7.53	-212.58	19.74	3.99	-20.64	-65.81	-43.70	-3.27	-3.71
e	-0.36	16.67	1.78	35.23	54.84	-25.93	-7.03	-18.34	4.67	28.18	4.72	-1.29	25.30	-3.36	-53.03	-41.99	-45.58	-15.24	-0.29
f	-316.63	-13.58	-35.41	-823.05	-25.93	24491.71	30.33	-292.68	-99.56	-27.22	559.11	6147.86	32.20	-234.36	-345.10	61.00	140.40	4.95	-25.96
g	0.55	-2.21	0.07	1.36	-7.03	30.33	2.47	2.31	0.03	-0.33	2.04	13.09	-1.45	1.60	6.02	1.25	3.13	3.17	-0.17
h	-5.92	14.00	0.03	33.34	-18.34	-292.68	2.31	30.82	3.13	12.40	4.06	-5.53	6.43	-4.62	22.89	-17.50	-1.69	3.11	-0.11
i	-2.45	0.95	-1.38	12.72	4.67	-99.56	0.03	3.13	8.93	10.17	-3.35	-21.60	5.61	-3.63	-12.50	-6.54	-14.80	2.18	-1.82
j	-5.70	12.60	-0.01	37.91	28.18	-27.22	-0.33	12.40	10.17	39.23	7.32	2.66	17.27	-3.61	-49.59	-33.46	-39.54	1.52	-2.92
k	-14.50	2.23	0.20	-7.53	4.72	559.11	2.04	4.06	-3.35	7.32	23.03	156.15	5.04	-3.83	-8.32	-5.24	2.61	-2.75	-0.14
l	-84.30	-3.23	-1.95	-212.58	-1.29	6147.86	13.09	-5.53	-21.60	2.66	156.15	885.55	2.73	-71.60	-39.78	3.44	62.50	-2.49	-5.31
m	-5.62	8.79	-1.04	19.74	25.30	32.20	-1.45	6.43	5.61	17.27	5.04	2.73	16.18	1.46	-25.59	-20.19	-20.92	-2.21	-1.02
n	15.46	2.35	3.73	3.99	-3.36	-234.36	1.60	-4.62	-3.63	-3.61	-3.83	-71.60	1.46	57.43	17.20	10.81	7.84	-3.75	3.56
ñ	26.55	-25.92	12.40	-20.64	-53.03	-345.10	6.02	22.89	-12.50	-49.59	-8.32	-39.78	-25.59	17.20	179.54	48.23	102.29	8.01	8.76
o	7.33	-13.72	0.05	-65.81	-41.99	61.00	1.25	-17.50	-6.54	-33.46	-5.24	3.44	-20.19	10.81	48.23	55.42	48.82	13.43	4.63
p	4.39	-22.79	9.53	-43.70	-45.58	140.40	3.13	-1.69	-14.80	-39.54	2.61	62.50	-20.92	7.84	102.29	48.82	83.96	1.23	6.63
q	8.05	-2.16	0.57	-3.27	-15.24	4.95	3.17	3.11	2.18	1.52	-2.75	-2.49	-2.21	-3.75	8.01	13.43	1.23	22.08	0.26
r	4.34	-0.84	1.43	-3.71	-0.29	-25.96	-0.17	-0.11	-1.82	-2.92	-0.14	-5.31	-1.02	3.56	8.76	4.63	6.63	0.26	1.37

Nota: a = caña de azúcar; b = chicozapote; c = cocotero; d = cocotero as.; e = estrella (zacate); f = frutales as.; g = guanábano; h = lima; i = limón; j = limón as.; k = mango; l = mango as.; m = naranja; n = otros cultivos; ñ = papayo; o = piña; p = plátano; q = plátano as.; r = tamarindo; as = asociado (s). Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Tabla 16. Matriz de varianzas y covarianzas de precios reales (miles\$/ton) de cultivos perennes.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	ñ	o	p	q	r
a	0.083	0.263	-0.103	0.262	0.051	0.093	-0.016	0.042	0.180	0.202	0.224	0.031	-0.015	-0.135	0.187	0.147	0.052	0.102	0.203
b	0.263	1.132	-0.359	0.923	0.124	0.879	0.625	0.926	1.470	1.296	1.023	0.156	0.159	-4.999	1.256	0.254	0.222	0.497	1.778
c	-0.103	-0.359	3.949	-2.134	-0.112	-1.014	-0.329	1.084	-1.557	-1.030	-0.882	-0.108	-0.039	-0.573	-0.660	1.108	-0.364	0.118	0.140
d	0.262	0.923	-2.134	7.835	0.125	1.479	0.118	1.303	2.041	1.217	1.007	-0.399	0.068	-2.422	1.184	-0.516	0.960	0.421	0.492
e	0.051	0.124	-0.112	0.125	0.053	0.066	-0.007	0.064	0.071	0.115	0.160	0.003	0.013	-0.435	0.096	0.091	0.019	0.104	0.278
f	0.093	0.879	-1.014	1.479	0.066	0.971	0.406	-0.205	1.264	0.901	0.602	-0.060	0.164	-1.065	0.782	0.118	0.362	0.096	0.383
g	-0.016	0.625	-0.329	0.118	-0.007	0.406	0.699	-0.304	0.412	0.101	0.009	-0.123	0.035	-1.999	0.193	-0.028	-0.028	-0.065	0.260
h	0.042	0.926	1.084	1.303	0.064	-0.205	-0.304	0.813	-0.106	0.026	0.042	0.056	0.088	-0.436	0.084	-4.447	0.184	0.361	0.217
i	0.180	1.470	-1.557	2.041	0.071	1.264	0.412	-0.106	2.189	1.771	1.070	-0.082	0.236	-0.779	1.241	0.120	0.543	0.179	0.752
j	0.202	1.296	-1.030	1.217	0.115	0.901	0.101	0.026	1.771	1.725	1.108	-0.008	0.186	-0.018	1.088	0.325	0.449	0.261	0.795
k	0.224	1.023	-0.882	1.007	0.160	0.602	0.009	0.042	1.070	1.108	1.068	0.276	0.053	-0.200	0.867	0.099	0.323	0.350	0.687
l	0.031	0.156	-0.108	-0.399	0.003	-0.060	-0.123	0.056	-0.082	-0.008	0.276	0.293	-0.035	0.800	0.095	-0.410	0.071	0.113	-0.146
m	-0.015	0.159	-0.039	0.068	0.013	0.164	0.035	0.088	0.236	0.186	0.053	-0.035	0.122	-0.108	0.099	0.136	0.062	0.007	0.108
n	-0.135	-4.999	-0.573	-2.422	-0.435	-1.065	-1.999	-0.436	-0.779	-0.018	-0.200	0.800	-0.108	26.583	-1.919	-1.529	-0.039	-0.159	-3.452
ñ	0.187	1.256	-0.660	1.184	0.096	0.782	0.193	0.084	1.241	1.088	0.867	0.095	0.099	-1.919	1.222	0.354	0.350	0.289	0.875
o	0.147	0.254	1.108	-0.516	0.091	0.118	-0.028	-4.447	0.120	0.325	0.099	-0.410	0.136	-1.529	0.354	1.964	-0.170	-0.222	1.283
p	0.052	0.222	-0.364	0.960	0.019	0.362	-0.028	0.184	0.543	0.449	0.323	0.071	0.062	-0.039	0.350	-0.170	0.357	0.121	-0.013
q	0.102	0.497	0.118	0.421	0.104	0.096	-0.065	0.361	0.179	0.261	0.350	0.113	0.007	-0.159	0.289	-0.222	0.121	0.228	0.298
r	0.203	1.778	0.140	0.492	0.278	0.383	0.260	0.217	0.752	0.795	0.687	-0.146	0.108	-3.452	0.875	1.283	-0.013	0.298	2.446

Nota: a = caña de azúcar; b = chicozapote; c = cocotero; d = cocotero as.; e = estrella (zacate); f = frutales as.; g = guanábano; h = lima; i = limón; j = limón as.; k = mango; l = mango as.; m = naranja; n = otros cultivos; ñ = papayo; o = piña; p = plátano; q = plátano as.; r = tamarindo; as = asociado (s). Año base 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Tabla 17. Matriz de varianzas y covarianzas de ingresos reales (miles\$/ha) de cultivos perennes.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	ñ	o	p	q	r
a	783.8	243.9	78.3	173.6	53.7	-1320.1	18.0	-1.3	437.3	95.0	319.4	-160.9	-183.7	-248.5	1794.3	2051.8	482.7	423.7	145.4
b	243.9	195.4	6.7	-31.5	51.1	-211.2	-60.3	584.3	-106.9	13.9	73.1	30.0	-24.9	-134.2	-209.2	-696.3	-247.8	301.4	-9.3
c	78.3	6.7	38.5	130.4	7.1	-59.0	-6.2	18.4	106.5	51.3	70.5	33.5	-1.1	77.8	330.3	6.9	194.4	55.2	12.3
d	173.6	-31.5	130.4	4924.0	164.1	-2949.0	-2.7	94.8	178.3	488.2	322.5	-34.2	-11.8	2661.9	1313.3	-2577.9	467.0	65.9	95.1
e	53.7	51.1	7.1	164.1	40.1	-137.2	-28.0	0.3	-94.3	-3.3	21.2	-0.02	23.4	276.0	-265.2	-188.2	-64.3	53.2	-8.9
f	-1320.1	-211.2	-59.0	-2949.0	-137.2	217993.8	-378.6	-614.0	-2004.0	-1951.6	2989.6	43056.1	20.4	-19188.4	-5561.5	2819.3	6394.1	229.3	-326.0
g	18.0	-60.3	-6.2	-2.7	-28.0	-378.6	195.0	-20.2	166.1	-20.7	30.7	-71.9	-43.2	-773.7	570.1	749.2	110.9	73.7	87.7
h	-1.3	584.3	18.4	94.8	0.3	-614.0	-20.2	157.7	21.0	63.6	22.3	76.4	88.0	-317.8	261.4	-6227.0	44.1	110.0	14.3
i	437.3	-106.9	106.5	178.3	-94.3	-2004.0	166.1	21.0	952.4	273.3	375.9	-202.0	-108.7	-223.9	3064.5	1915.5	1113.3	251.4	242.7
j	95.0	13.9	51.3	488.2	-3.3	-1951.6	-20.7	63.6	273.3	299.9	63.0	-252.5	68.2	73.8	676.9	-218.2	165.9	63.1	18.3
k	319.4	73.1	70.5	322.5	21.2	2989.6	30.7	22.3	375.9	63.0	414.8	713.0	-105.1	-1.3	1831.8	430.8	847.8	307.7	160.4
l	-160.9	30.0	33.5	-34.2	-9.4	43056.1	-71.9	76.4	-202.0	-252.5	713.0	4832.3	0.3	-4546.6	-194.5	-131.8	1496.1	51.2	-22.1
m	-183.7	-24.9	-1.1	-11.8	23.4	20.4	-43.2	88.0	-108.7	68.2	-105.1	0.3	237.9	470.4	-764.6	-772.2	-113.4	-99.1	-65.0
n	-248.5	-134.2	77.8	2661.9	276.0	-19188.4	-773.7	-317.8	-223.9	73.8	-1.3	-4546.6	470.4	18380.2	-2174.2	-6707.4	190.9	-596.9	-14.8
ñ	1794.3	-209.2	330.3	1313.3	-265.2	-5561.5	570.1	261.4	3064.5	676.9	1831.8	-194.5	-764.6	-2174.2	13659.5	5899.6	4543.4	1441.3	1040.0
o	2051.8	-696.3	6.9	-2577.9	-188.2	2819.3	749.2	-6227.0	1915.5	-218.2	430.8	-131.8	-772.2	-6707.4	5899.6	16310.8	1087.6	688.3	686.1
p	482.7	-247.8	194.4	467.0	-64.3	6394.1	110.9	44.1	1113.3	165.9	847.8	1496.1	-113.4	190.9	4543.4	1087.6	2507.3	411.8	334.6
q	423.7	301.4	55.2	65.9	53.2	229.3	73.7	110.0	251.4	63.1	307.7	51.2	-99.1	-596.9	1441.3	688.3	411.8	449.9	140.0
r	145.4	-9.3	12.3	95.1	-8.9	-326.0	87.7	14.3	242.7	18.3	160.4	-22.1	-65.0	-14.8	1040.0	686.1	334.6	140.0	130.3

Nota: a = caña de azúcar; b = chicozapote; c = cocotero; d = cocotero as.; e = estrella (zacate); f = frutales as.; g = guanábano; h = lima; i = limón; j = limón as.; k = mango; l = mango as.; m = naranja; n = otros cultivos; ñ = papayo; o = piña; p = plátano; q = plátano as.; r = tamarindo; as = asociado (s). Año base 2018. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.