



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

“EVALUACIÓN DE UN SEGURO AGRÍCOLA MUTUAL EN ESPECIE PARA MAÍZ DE TEMPORAL EN EL ESTADO DE MÉXICO”

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

Presenta:

Abel Alexis Antonio Montes

Bajo la supervisión de:

Dr. Miguel Ángel Martínez Damián



APROBADA



Chapingo, Estado de México, septiembre de 2026



**EVALUACIÓN DE UN SEGURO AGRÍCOLA MUTUAL EN ESPECIE PARA
MAÍZ DE TEMPORAL
EN EL ESTADO DE MÉXICO**

Tesis realizada por Abel Alexis Antonio Montes, dirigida y aprobada por el Comité
Asesor indicado, aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

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

Director:



Dr. Miguel Angel Martínez Damián

Asesor:



Dr. Juan Hernández Ortiz

Asesor:



Dr. Ramón Valdivia Alcalá

Chapingo, Estado de México, septiembre de 2026.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	5
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Hipótesis.....	7
1.5.1 Hipótesis general.....	7
1.5.2 Hipótesis específicas	7
1.6 Presentación del documento	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Riesgo productivo y vulnerabilidad del maíz de temporal en México	9
2.2 Fundamentos económicos del seguro agrícola: utilidad esperada, información y diseño contractual	13
2.3 Evolución institucional del seguro agrícola y fondos de aseguramiento en México	16
2.4 Cobertura y determinantes de la adopción del seguro agrícola	20
2.5 Mecanismos de activación en seguros agrícolas: rendimiento de área, índices y riesgo de base.....	21
2.6 Tendencia tecnológica y homogeneización de rendimientos para la evaluación del riesgo.....	26
2.7 Mutualidad, riesgo sistémico y suficiencia financiera del aseguramiento agrícola	29
2.8 Seguro agrícola en especie: denominación física, alcances y requerimientos operativos	33
2.9 Aversión al riesgo y bienestar: utilidad CRRA, equivalente cierto y prima de riesgo.....	37
2.10 Literatura citada.....	40
3. SEGURO AGRÍCOLA MUTUAL EN ESPECIE PARA MAÍZ DE TEMPORAL: EVALUACIÓN ACTUARIAL, FINANCIERA Y DE BIENESTAR	46
3.1 Resumen	46

3.2 Introducción.....	47
3.3 Discusión teórica	49
3.4 Metodología.....	51
3.4.1 Evaluación complementaria de bienestar	54
3.5 Resultados	56
3.5.1 Análisis complementario de bienestar bajo aversión al riesgo	59
3.6 Discusión.....	61
3.7 Conclusiones.....	65
3.8 Referencias	66
4. CONCLUSIONES GENERALES.....	70
5. LITERATURA CITADA	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rendimientos homogeneizados de maíz grano de temporal respecto del nivel tendencial estimado para 2023, Estado de México, 1993–2023.....	56
Figura 2. Distribución de rendimientos homogeneizados y umbrales de activación bajo los escenarios A y B.....	57
Figura 3. Balance acumulado y capital mínimo requerido del fondo mutual bajo los escenarios A y B, Estado de México, 1993–2023.	58
Figura 4. Utilidad esperada y utilidad asociada al valor esperado de los recursos bajo una función CRRA.	60
Figura 5. Cambio en el equivalente cierto del aseguramiento bajo distintos niveles de aversión relativa al riesgo.	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Evidencia empírica relevante sobre riesgo climático y producción de maíz.	11
Cuadro 2.2. Principales hitos en la evolución institucional del seguro agropecuario en México	19
Cuadro 2.3. Características de los principales mecanismos de activación en seguros agrícolas	25
Cuadro 2.4. Evidencia sobre riesgo sistémico, diversificación y respaldo financiero en el aseguramiento agrícola.....	31
Cuadro 2.5. Comparación conceptual entre un seguro de rendimiento monetario y el esquema en especie analizado	36
Cuadro 3.1 Indicadores actuariales y financieros del esquema de seguro agrícola en especie bajo dos escenarios de activación.....	58
Cuadro 3.2 Sensibilidad del capital mínimo requerido al recargo de seguridad.	59
Cuadro 3.3 Recursos medios, equivalente cierto y prima de riesgo bajo $\gamma = 2$. 60	

ABREVIATURAS USADAS

AGROASEMEX: AGROASEMEX, S.A.

ANAGSA: Aseguradora Nacional Agrícola y Ganadera, S.A.

CE: Equivalente Ciento

CMR: capital mínimo requerido

CRRA: aversión relativa al riesgo constante

DE: desviación estándar

DICEA: División de Ciencias Económico Administrativas

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

LFAAR: Ley de Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

USDA-RMA: United States Department of Agriculture – Risk Management Agency

DEDICATORIA

A mi mamá, Guillermina, por su amor, fortaleza y apoyo incondicional. Gracias por acompañarme en cada etapa de mi vida, por confiar siempre en mí y por enseñarme a seguir adelante aun en los momentos difíciles. Gran parte de este logro también es tuyo.

A mi papá, Abel, por su ejemplo de trabajo, constancia y responsabilidad. Gracias por impulsarme a superarme, por estar siempre presente con tu apoyo y tus consejos.

A mi hermana, Carmen, por su cariño, compañía y por formar parte fundamental de mi vida. Gracias por estar siempre para mí y por celebrar conmigo cada paso de este camino.

A Naye, por acompañarme durante esta etapa, por su paciencia, cariño y apoyo en los momentos de trabajo, cansancio e incertidumbre. Gracias por creer en mí, por motivarme a seguir adelante y por compartir conmigo no solo este logro, sino también todo el camino que hubo detrás.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado a través de la beca de posgrado que me permitió realizar mis estudios en la Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales.

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

A la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA), por ofrecerme un espacio de formación, aprendizaje e investigación, así como por los recursos y el acompañamiento brindados durante el desarrollo de este trabajo.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Miguel Ángel Martínez Damián, por su orientación, disposición, tiempo y valiosas observaciones durante el desarrollo de esta investigación. Su acompañamiento fue fundamental para fortalecer la calidad académica del presente trabajo.

Agradezco también a mis asesores, Dr. Juan Hernández Ortiz y al Dr. Ramón Valdivia Alcalá, por sus comentarios, sugerencias y aportaciones, que contribuyeron de manera importante al enriquecimiento de esta tesis.

Al SIAP y al INEGI, por la disponibilidad de la información estadística empleada en esta investigación, la cual hizo posible el análisis desarrollado.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Abel Alexis Antonio Montes

Lugar de nacimiento: Arroyo Hondo, Misantla, Veracruz

Fecha de nacimiento: 14 de enero de 1999

Profesión: Licenciado en Economía

Cédula profesional: 13930640

Formación académica

Preparatoria: Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario Núm. 135

Licenciatura: Licenciatura en Economía, Universidad Autónoma Chapingo

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

Formación complementaria

Diplomado en Seguros, Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF), 2026.

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN DE UN SEGURO AGRÍCOLA MUTUAL EN ESPECIE PARA MAÍZ DE TEMPORAL EN EL ESTADO DE MÉXICO ¹

El maíz de temporal es estratégico para México, pero su producción está expuesta a variabilidad climática y productiva que puede reducir el rendimiento, el ingreso y la disponibilidad física de grano. Esta investigación evaluó el desempeño actuarial y la viabilidad financiera de un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz de temporal en el Estado de México y, de manera complementaria, el bienestar de un productor representativo bajo distintos niveles de aversión al riesgo. Se utilizó una serie estatal de rendimientos de 1993–2023, homogeneizada respecto del nivel tendencial estimado para 2023, y una simulación histórica determinística de estrés para una cartera hipotética de 1000 productores y 1000 ha. Se analizaron dos escenarios de activación, con indemnización fija de 1550 kg ha⁻¹ y recargo de seguridad de 25%. El escenario A registró una frecuencia de activación de 3.23%, prima cobrada de 62.5 kg ha⁻¹ y capital mínimo requerido de 362.5 ton; el escenario B, 6.45%, 125 kg ha⁻¹ y 725 ton, respectivamente. Ambos finalizaron con balances positivos, aunque requirieron capital inicial equivalente a 5.8 veces la recaudación anual por primas para evitar déficits temporales. El análisis complementario mediante utilidad CRRA mostró que el equivalente cierto con seguro superó al de la situación sin cobertura a partir de $\gamma \approx 1.10$ en A y $\gamma \approx 1.50$ en B. Se concluye que una mayor protección aumenta la prima y el capital requerido, mientras que la valoración del seguro depende del grado de aversión al riesgo.

Palabras clave: aversión al riesgo; capital mínimo requerido; equivalente cierto; fondo mutual; rendimiento homogeneizado.

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

Autor: Abel Alexis Antonio Montes

Director: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián

GENERAL ABSTRACT

EVALUATION OF A MUTUAL IN-KIND AGRICULTURAL INSURANCE SCHEME FOR RAINFED MAIZE IN THE STATE OF MEXICO ²

Rainfed maize is a strategic crop in Mexico, but its production is subject to climatic and production-related variability, which can reduce yields, farmers' incomes, as well as the physical availability of grain. This study evaluated the actuarial performance and financial viability of a hypothetical mutual in-kind agricultural insurance scheme for rainfed maize in the State of Mexico and, as a complementary analysis, it also assessed the welfare of a representative producer under different levels of risk aversion. A state-level yield series for 1993–2023, homogenized to the estimated 2023 trend level, was used in a deterministic historical stress simulation for a hypothetical portfolio of 1,000 producers and 1,000 ha. Two activation scenarios were analyzed, each with a fixed indemnity of 1,550 kg ha⁻¹ and a 25% safety loading. Scenario A recorded an activation frequency of 3.23%, a premium charged of 62.5 kg ha⁻¹, and a minimum capital requirement of 362.5 t; whereas Scenario B recorded 6.45%, 125 kg ha⁻¹, and 725 t, respectively. Both scenarios ended with positive balances, although an initial capital equivalent to 5.8 times the annual premium collection was required to prevent temporary deficits. The complementary CRRA utility analysis showed that the certainty equivalent under insurance exceeded that of the uninsured situation for γ values above approximately 1.10 in Scenario A and 1.50 in Scenario B. The results indicate that broader coverage increases both the premium and capital requirement, while the value of insurance to producers depends on their degree of risk aversion.

Keywords: risk aversion; minimum capital requirement; certainty equivalent; mutual fund; homogenized yield

² Master's Thesis in Agricultural and Natural Resources Economics, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Abel Alexis Antonio Montes

Advisor: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes

El maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia estratégica en México por su relevancia alimentaria, económica, social y cultural. En 2023 se sembraron aproximadamente 6.94 millones de hectáreas de maíz grano y se obtuvo una producción de 27.55 millones de toneladas. En ese mismo año, el Estado de México registró alrededor de 470.5 mil hectáreas sembradas y una producción de 1.81 millones de toneladas, equivalente a 6.6 % del volumen nacional, lo que confirma la importancia del cultivo en la estructura productiva de la entidad (SIAP, 2025).

Una parte importante de la producción de maíz se desarrolla bajo condiciones de temporal y, por tanto, depende de la disponibilidad y distribución de la precipitación durante el ciclo agrícola. Esta característica expone a los productores a sequías, lluvias irregulares, heladas, granizadas, excesos de humedad y otros eventos capaces de reducir el rendimiento. De acuerdo con el Censo Agropecuario 2022, 61.0 % de las unidades de producción agropecuaria reportó pérdidas ocasionadas por algún factor climático o biológico, mientras que solamente 1.9 % reportó haber obtenido algún tipo de seguro, lo que evidencia el limitado acceso a mecanismos formales de transferencia del riesgo (INEGI, 2023a).

Las consecuencias de una reducción del rendimiento no se limitan necesariamente a la disminución del ingreso derivado de la venta de la cosecha. En unidades campesinas y de pequeña producción, la agricultura de temporal puede formar parte de estrategias familiares de seguridad alimentaria y reproducción de la unidad productiva (López-González *et al.*, 2023), ya que el maíz cumple funciones de autoconsumo, comercialización, conservación de semilla, alimentación animal o continuidad del ciclo productivo. Por ello, una caída del rendimiento puede afectar simultáneamente el valor económico de la cosecha y la disponibilidad física de producto para la unidad de producción.

Frente a esta incertidumbre, el seguro agrícola constituye uno de los principales instrumentos formales para transferir o compartir el riesgo productivo. En México, su desarrollo institucional, desde la operación de ANAGSA a partir de 1963 hasta la creación de AGROASEMEX en 1990 y la Ley de Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural de 2005, ha dado lugar a una estructura en la que participan instituciones públicas, aseguradoras privadas y organizaciones mutualistas de productores (Lases Zayas, 2010; Ocampo-Ledesma *et al.*, 2026; Cámara de Diputados, 2025). Este proceso institucional se examina con mayor detalle en el Cap. 2.

Desde la perspectiva económica, el diseño de un seguro agrícola enfrenta dificultades derivadas de la información disponible y del riesgo sistémico asociado a fenómenos climáticos que pueden afectar simultáneamente a numerosos productores (Goodwin, 2001; Miranda y Glauber, 1997). Como alternativa a los seguros indemnizatorios individuales, los seguros de rendimiento de área e indexados utilizan indicadores agregados u observables para activar la cobertura, reduciendo algunos requerimientos de verificación, aunque a costa de introducir riesgo de base (Miranda, 1991; Jensen y Barrett, 2017). Asimismo, cuando se utilizan series históricas de rendimiento para calibrar este tipo de instrumentos, resulta necesario distinguir el cambio tecnológico de largo plazo de la variabilidad interanual asociada al riesgo productivo (Finger, 2010; Tolhurst y Ker, 2015). Estos fundamentos se desarrollan íntegramente en el Cap. 2.

En México, la literatura empírica sobre aseguramiento agrícola ha explorado distintas alternativas para pequeños productores de maíz. Ayvar Vargas *et al.* (2018) propusieron un esquema para productores de Puebla, Portillo Vázquez *et al.* (2020) desarrollaron un modelo de aseguramiento privado y Solano-Alonso *et al.* (2021) identificaron restricciones institucionales y operativas que limitan el alcance del seguro agropecuario en el país. En conjunto, estos trabajos confirman la pertinencia de desarrollar instrumentos adaptados a las condiciones productivas y financieras de los agricultores de menor escala, pero se formulan

principalmente en términos monetarios o mediante modalidades convencionales de cobertura.

Una alternativa poco explorada consiste en denominar el contrato en unidades físicas del cultivo, de manera que tanto la prima como la indemnización se expresen en kilogramos de maíz. Bajo esta formulación, la calibración actuarial se concentra en la pérdida física del rendimiento y puede analizarse separadamente del componente de precios, una propiedad especialmente pertinente cuando el maíz no representa únicamente un bien de venta, sino también un recurso para el consumo familiar y la continuidad de la unidad productiva. Esta formulación en especie constituye el elemento distintivo del esquema desarrollado en esta investigación. Asimismo, al expresar los recursos asociados al aseguramiento en unidades físicas comparables, es posible analizar de manera complementaria cómo su variabilidad puede ser valorada por un productor adverso al riesgo mediante herramientas de utilidad esperada.

A partir de estos antecedentes, el vacío de investigación se delimita de manera específica: no se identificaron estudios para maíz grano de temporal en México que integren, de manera conjunta, la denominación física de la prima y la indemnización, la homogeneización de rendimientos, la evaluación actuarial y financiera de un fondo mutual y un análisis complementario del bienestar bajo distintos niveles de aversión al riesgo. En este contexto, la presente investigación evalúa un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz grano de temporal en el Estado de México mediante una serie histórica de rendimientos homogeneizados y una simulación determinística de estrés financiero, y complementa el análisis con una evaluación del bienestar de un productor representativo mediante una función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante.

1.2 Justificación

Desde el punto de vista social y productivo, la presente investigación se justifica por la relevancia del riesgo asociado al maíz de temporal, particularmente en unidades de pequeña escala y en aquellas donde una reducción del rendimiento

compromete simultáneamente el ingreso de la cosecha y la disponibilidad de grano para los distintos usos que puede tener dentro de la unidad de producción. En este contexto, el aseguramiento constituye un instrumento potencial para reducir las consecuencias de eventos adversos: la evidencia empírica muestra que los mecanismos de protección frente al riesgo pueden contribuir a disminuir estrategias de afrontamiento costosas después de choques productivos, aunque sus efectos dependen de las características económicas de los productores y del diseño de la cobertura (Janzen y Carter, 2019).

Desde el punto de vista metodológico, la evaluación de un seguro basado en rendimientos requiere distinguir la variabilidad asociada al riesgo productivo de los cambios de largo plazo relacionados con el progreso tecnológico. El uso de series históricas sin ajustar puede afectar la estimación de los umbrales de activación y de los parámetros actuariales; por ello, la homogeneización de los rendimientos respecto de un nivel tendencial común constituye un elemento relevante para la calibración del esquema (Finger, 2010; Tolhurst y Ker, 2015). Asimismo, la formulación de la prima y la indemnización en kilogramos de maíz permite concentrar el análisis actuarial en la dimensión física del riesgo de rendimiento y separar su calibración del componente de precios, sin implicar que el productor deje de estar expuesto a otras fuentes de riesgo económico.

Desde el punto de vista financiero, la estimación de una prima adecuada no garantiza por sí misma la sostenibilidad de un mecanismo de aseguramiento. Los eventos climáticos pueden afectar simultáneamente a varios productores y concentrar las indemnizaciones en determinados ciclos, por lo que resulta necesario evaluar también la trayectoria del fondo y el capital mínimo requerido para enfrentar déficits temporales (Miranda y Glauber, 1997). En un esquema mutual, este análisis adquiere particular importancia porque las aportaciones de los participantes constituyen un fondo común destinado a compensar las pérdidas cubiertas (Lases Zayas, 2010). De manera complementaria, la evaluación del aseguramiento desde la perspectiva del productor permite analizar si la reducción de la variabilidad de los recursos puede generar ganancias de

bienestar bajo distintos niveles de aversión al riesgo, aun cuando la contratación implique el pago recurrente de una prima.

Desde el punto de vista académico, la contribución del estudio radica en integrar, dentro de un mismo ejercicio, la homogeneización de rendimientos, la formulación de un seguro cuya prima e indemnización se expresan en unidades físicas, la evaluación actuarial y financiera de un fondo mutual y un análisis complementario del bienestar mediante utilidad esperada y equivalente cierto bajo distintos niveles de aversión al riesgo. Como se detalla en la revisión de literatura del Cap. 2, esta combinación no se identificó en estudios previos sobre maíz grano de temporal en México. Los resultados deben interpretarse, en consecuencia, como una evaluación preliminar bajo los supuestos establecidos, que puede servir como base para investigaciones posteriores que incorporen información individual o municipal, costos administrativos y logísticos, mecanismos de gobernanza, respaldo financiero y estimaciones empíricas de las preferencias frente al riesgo de los productores.

1.3 Planteamiento del problema

La producción de maíz de temporal está expuesta a eventos climáticos y productivos que generan variaciones en el rendimiento y pueden ocasionar pérdidas significativas para las unidades de producción. A pesar de esta exposición, el acceso al aseguramiento agrícola en México continúa siendo limitado y los instrumentos disponibles enfrentan distintas dificultades de diseño. Los seguros indemnizatorios individuales pueden requerir procesos de verificación costosos y enfrentar problemas de selección adversa y riesgo moral (Goodwin, 2001), mientras que los seguros indexados reducen algunos requerimientos de información y verificación, pero pueden generar riesgo de base cuando el indicador utilizado para activar la cobertura no representa adecuadamente la pérdida experimentada por el productor (Jensen y Barrett, 2017; Jensen *et al.*, 2018). Además, la demanda de seguros agrícolas en países en desarrollo se encuentra condicionada por factores como restricciones de liquidez, confianza, percepción del producto y riesgo de base (Ali *et al.*, 2020).

Frente a este panorama, subsisten dos vacíos concretos que esta investigación busca atender. Primero, no se conoce el desempeño actuarial ni los requerimientos financieros de un esquema mutual en el que la prima y la indemnización se expresen en kilogramos de maíz y cuya calibración se realice a partir de una serie de rendimientos homogeneizados. La estimación de una prima consistente con la frecuencia histórica de activación no garantiza por sí misma que el fondo disponga de recursos suficientes en todos los ciclos, particularmente cuando las indemnizaciones pueden concentrarse temporalmente. Segundo, la evaluación actuarial y financiera del fondo no permite determinar, por sí sola, cómo valora un productor adverso al riesgo la redistribución de recursos que genera el aseguramiento. El pago periódico de una prima puede reducir los recursos medios disponibles, mientras que la indemnización en estados de baja producción puede disminuir su variabilidad; por ello, resulta pertinente analizar el aseguramiento mediante utilidad esperada y equivalente cierto bajo distintos niveles de aversión al riesgo.

Ante este panorama, la presente investigación plantea como **pregunta principal: ¿Qué desempeño actuarial y viabilidad financiera presenta un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz grano de temporal en el Estado de México, expresado en kilogramos de maíz y calibrado mediante umbrales derivados de una serie estatal de rendimientos homogeneizados?** De manera complementaria se plantea: **¿Bajo qué niveles de aversión al riesgo el aseguramiento genera un equivalente cierto superior al de la situación sin seguro para un productor representativo, y cómo difiere esta valoración entre los escenarios de cobertura evaluados?** Estas preguntas permiten analizar el instrumento desde la perspectiva agregada del fondo mutual y, de manera complementaria, desde la valoración del riesgo por parte del productor. Dado que la información disponible no permite estimar directamente las preferencias frente al riesgo de los productores del Estado de México, el análisis de bienestar se plantea como un ejercicio de sensibilidad y no como una estimación empírica de su comportamiento o demanda efectiva de aseguramiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño actuarial y la viabilidad financiera de un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz grano de temporal en el Estado de México y, de manera complementaria, analizar el bienestar de un productor representativo bajo distintos niveles de aversión al riesgo.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Estimar los parámetros actuariales del esquema bajo dos escenarios de activación, a partir de una serie estatal de rendimientos homogeneizados.
2. Evaluar el comportamiento financiero del fondo mutual mediante simulación histórica, considerando el balance acumulado y el capital mínimo requerido.
3. Evaluar, mediante una función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante (CRRRA), el bienestar de un productor representativo con y sin aseguramiento, utilizando el equivalente cierto y analizando su sensibilidad ante distintos niveles de aversión al riesgo.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz grano de temporal presentará parámetros actuariales plausibles y viabilidad financiera bajo los supuestos evaluados, condicionada a la disponibilidad de respaldo inicial suficiente para cubrir los déficits temporales del fondo mutual.

1.5.2 Hipótesis específicas

1. El escenario con un umbral de activación más amplio presentará una mayor frecuencia de activación y, en consecuencia, mayores

requerimientos de prima y capital mínimo que el escenario con un umbral de activación más restrictivo.

2. Bajo aversión al riesgo, el aseguramiento podrá generar un equivalente cierto superior al de la situación sin seguro cuando la reducción de la variabilidad de los recursos compense el costo asociado al pago de la prima.

1.6 Presentación del documento

El documento se organiza en cinco capítulos. El primero contiene la introducción general de la investigación e integra los antecedentes, la justificación, el planteamiento del problema, los objetivos y las hipótesis que orientan el estudio.

El segundo capítulo desarrolla la revisión de literatura y los fundamentos teóricos relacionados con el riesgo productivo en la agricultura de temporal, el seguro agrícola, los problemas de información asociados al aseguramiento, los seguros de rendimiento e indexados, la homogeneización de rendimientos, la mutualidad, el riesgo sistémico y la sostenibilidad financiera de los fondos de aseguramiento. Asimismo, se examinan los fundamentos conceptuales del seguro agrícola en especie y su relación con la disponibilidad física de producto, la aversión al riesgo, la utilidad esperada y el bienestar de los productores.

El tercer capítulo constituye el núcleo empírico de la investigación y presenta la evaluación actuarial y financiera de un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz grano de temporal en el Estado de México. A partir de una serie estatal de rendimientos correspondiente al periodo 1993–2023, homogeneizada respecto del nivel tendencial estimado para 2023, se construyen dos escenarios de activación y se estiman la frecuencia histórica de activación, las primas y el capital mínimo requerido. Mediante una simulación histórica determinística de estrés se analiza la trayectoria financiera de un fondo mutual hipotético y la sensibilidad del capital requerido al recargo de seguridad. De manera complementaria, se evalúa el bienestar de un productor representativo

mediante una función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante (CRRA), utilizando el equivalente cierto para comparar las situaciones con y sin aseguramiento bajo distintos niveles de aversión al riesgo.

El cuarto capítulo presenta las conclusiones generales, las principales limitaciones del estudio y las líneas de investigación futura; el quinto reúne las referencias citadas en el conjunto de la tesis.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Riesgo productivo y vulnerabilidad del maíz de temporal en México

El riesgo productivo constituye una característica inherente de la actividad agrícola, ya que el nivel de producción obtenido no depende exclusivamente de la cantidad de insumos utilizados, sino también de factores inciertos que pueden modificar el rendimiento. Desde la economía de la producción, Just y Pope (1978) desarrollaron una especificación estocástica que permite distinguir los efectos de los factores productivos sobre el nivel esperado de producción de sus efectos sobre la variabilidad del resultado. Este enfoque constituye un antecedente fundamental para reconocer que las decisiones productivas pueden modificar tanto el rendimiento esperado como el riesgo asociado con la producción. En los sistemas de temporal, esta incertidumbre adquiere particular importancia debido a la dependencia de la precipitación y a la exposición a variaciones de temperatura y otros eventos ambientales.

El maíz (*Zea mays* L.) es sensible a las condiciones ambientales durante distintas etapas de su desarrollo, por lo que cambios en la temperatura, la disponibilidad de agua y la distribución temporal de la precipitación pueden afectar su rendimiento. A escala global, Lobell *et al.* (2011) estimaron los efectos de las tendencias climáticas observadas entre 1980 y 2008 sobre los principales cultivos y encontraron que la producción mundial de maíz fue aproximadamente 3.8 % menor que la estimada en un escenario contrafactual sin dichas tendencias. Este

resultado evidencia que los cambios sistemáticos de temperatura y precipitación pueden generar efectos cuantificables sobre la producción agrícola, aunque su magnitud varía entre regiones y cultivos.

En México, esta exposición adquiere especial relevancia debido a la importancia de la agricultura de temporal. Murray-Tortarolo *et al.* (2018) analizaron la relación entre precipitación y producción de maíz de temporal y encontraron una marcada heterogeneidad espacial en la sensibilidad del cultivo, con posibles reducciones futuras especialmente importantes en algunas regiones del país. Por su parte, Ureta *et al.* (2020) evaluaron el rendimiento del maíz bajo escenarios de cambio climático y encontraron efectos negativos asociados con cambios en temperatura y precipitación, además de una mayor vulnerabilidad relativa de determinadas zonas de temporal. En conjunto, estos estudios muestran que el riesgo climático no puede considerarse uniforme entre las distintas regiones productoras de México.

La evidencia para el conjunto de la agricultura mexicana apunta en la misma dirección. Estrada *et al.* (2022), mediante modelos de cultivos para seis productos agrícolas relevantes, estimaron una mayor exposición de los sistemas de temporal ante escenarios de cambio climático. Bajo un escenario de altas emisiones, proyectaron hacia finales del siglo una reducción de aproximadamente 42 % en el rendimiento nacional del maíz de temporal, frente a 31.4 % en condiciones de riego. Asimismo, estimaron que alrededor de 69 % de las pérdidas económicas agregadas de los cultivos considerados corresponderían a la agricultura de temporal y que las reducciones asociadas al maíz representarían cerca de 70 % de las pérdidas totales. Estas cifras corresponden a proyecciones condicionadas a escenarios climáticos y modelos específicos, por lo que no deben interpretarse como predicciones puntuales del rendimiento futuro.

Para el Estado de México existe evidencia particularmente pertinente. Mastachi-Loza *et al.* (2016) analizaron la variabilidad climática y su relación con la

producción de maíz de temporal en la cuenca alta del río Lerma. Sus resultados indican que no solo importa la cantidad total de precipitación, sino también su distribución a lo largo del ciclo agrícola. En particular, identificaron cambios estacionales en el patrón de lluvias capaces de generar déficit hídrico coincidente con etapas vulnerables del cultivo, como la floración. Este resultado muestra que las condiciones climáticas adversas pueden afectar el rendimiento aun cuando su efecto no se exprese exclusivamente mediante una reducción de la precipitación anual acumulada.

En conjunto, estos estudios documentan la sensibilidad del maíz de temporal a la variabilidad de las condiciones ambientales en distintas escalas espaciales, desde análisis globales hasta estudios específicos para México y el Estado de México. El Cuadro 2.1 sintetiza los principales aportes de la evidencia considerada.

Cuadro 2.1. Evidencia empírica relevante sobre riesgo climático y producción de maíz.

Estudio	Ámbito	Enfoque	Principal aporte para la investigación
Lobell <i>et al.</i> (2011)	Global	Tendencias climáticas y producción agrícola	Documenta efectos cuantificables de las tendencias de temperatura y precipitación sobre la producción mundial de maíz
Mastachi-Loza <i>et al.</i> (2016)	Cuenca alta del Lerma, Estado de México	Variabilidad climática y maíz de temporal	Muestra la importancia de la distribución estacional de la precipitación y su coincidencia con etapas vulnerables del cultivo
Murray-Tortarolo <i>et al.</i> (2018)	México	Precipitación, maíz de temporal y cambio climático	Evidencia heterogeneidad espacial en la relación entre precipitación y producción de maíz de temporal
Ureta <i>et al.</i> (2020)	México	Rendimiento del maíz bajo cambio climático	Identifica impactos diferenciados espacialmente y mayor vulnerabilidad de determinadas zonas de temporal
Estrada <i>et al.</i> (2022)	México	Modelos de cultivos y evaluación económica	Proyecta una mayor afectación del maíz de temporal y pérdidas económicas relevantes bajo escenarios de altas emisiones

Fuente: elaboración propia con base en Lobell et al. (2011), Mastachi-Loza et al. (2016), Murray-Tortarolo et al. (2018), Ureta et al. (2020) y Estrada et al. (2022).

Como muestra el Cuadro 2.1, la literatura coincide en señalar la sensibilidad del maíz a las condiciones climáticas, aunque la magnitud y naturaleza de los efectos dependen de la escala geográfica, las características productivas y el enfoque metodológico empleado.

El riesgo productivo considerado en esta investigación, sin embargo, no se identifica exclusivamente con el cambio climático. El rendimiento observado resulta de la interacción de condiciones climáticas interanuales, eventos extremos, factores biológicos, tecnología, características productivas y decisiones de manejo. En consecuencia, una serie histórica de rendimientos permite observar la variabilidad productiva resultante, pero no atribuir causalmente cada fluctuación a una fuente específica. Esta distinción es fundamental para el estudio, ya que la investigación no pretende estimar el efecto causal del cambio climático sobre los rendimientos del Estado de México, sino utilizar la variabilidad observada de la serie estatal de 1993–2023 como base para caracterizar el riesgo y calibrar el esquema hipotético de aseguramiento.

En síntesis, la producción de maíz de temporal se encuentra expuesta a fuentes de incertidumbre capaces de generar reducciones relevantes del rendimiento y cuyos efectos varían espacial y temporalmente. La imposibilidad de controlar completamente estas fuentes de riesgo proporciona el fundamento para considerar mecanismos de administración y transferencia de sus consecuencias económicas. Sobre esta base, el siguiente apartado examina los fundamentos económicos del seguro agrícola y los problemas de información que condicionan el diseño contractual.

2.2 Fundamentos económicos del seguro agrícola: utilidad esperada, información y diseño contractual

El análisis económico del seguro parte de la existencia de decisiones bajo incertidumbre. La teoría de la utilidad esperada desarrollada por von Neumann y Morgenstern (1944) proporciona un marco para representar las preferencias de los individuos frente a resultados inciertos, mientras que Arrow (1971) profundiza en sus implicaciones para la asignación y transferencia del riesgo. Bajo este enfoque, un agente averso al riesgo no valora únicamente el resultado esperado de una decisión, sino también la variabilidad de los posibles resultados. De manera general, la utilidad esperada puede expresarse como:

$$E[U(W)] = \sum_{s=1}^S p_s U(W_s), \quad \sum_{s=1}^S p_s = 1 \quad (2.1)$$

donde W_s representa el nivel de riqueza o recursos disponibles en el estado s , p_s es la probabilidad asociada a dicho estado y $U(W_s)$ es la utilidad correspondiente. Para un agente averso al riesgo se cumple que $U'(W) > 0$ y $U''(W) < 0$, es decir, la utilidad aumenta con la riqueza, pero a una tasa decreciente. En este contexto, el seguro constituye un mecanismo para redistribuir las consecuencias económicas de los distintos estados posibles: el asegurado realiza un pago conocido mediante la prima y recibe una indemnización cuando ocurre el evento cubierto. Sin embargo, la existencia de incertidumbre no implica que cualquier contrato de aseguramiento resulte conveniente, pues su valoración depende de la magnitud y probabilidad de la pérdida, la prima, la indemnización y las preferencias del agente frente al riesgo.

Una forma de representar esta valoración es mediante el equivalente cierto, definido como la cantidad segura de recursos que proporciona al individuo la misma utilidad que una alternativa incierta. Para un agente averso al riesgo, el equivalente cierto se encuentra por debajo del valor esperado de los recursos, y la diferencia entre ambos constituye una medida de la prima de riesgo asociada a la incertidumbre (Pratt, 1964). Estos conceptos permiten comparar alternativas

que difieren no solo en sus resultados medios, sino también en su variabilidad, y constituyen la base del análisis complementario de bienestar desarrollado posteriormente en esta investigación.

El diseño del contrato determina la proporción del riesgo que permanece a cargo del asegurado y aquella que es transferida al mecanismo de aseguramiento. La cobertura completa no constituye necesariamente la única alternativa. Arrow (1974) mostró la importancia de los contratos con deducible dentro del problema de aseguramiento óptimo, al permitir que una parte de la pérdida permanezca bajo responsabilidad del asegurado. Desde esta perspectiva, la prima, el nivel de cobertura, el deducible y la regla de indemnización forman parte de un mismo problema de diseño. En el seguro agrícola, estos elementos adquieren especial relevancia debido a que la producción depende de factores climáticos, tecnológicos y de manejo que no siempre pueden observarse o verificarse con precisión.

Una dificultad adicional surge cuando el asegurador y el asegurado no disponen de la misma información. Rothschild y Stiglitz (1976) demostraron que la información imperfecta sobre los niveles de riesgo puede modificar el funcionamiento de los mercados de seguros y las características de los contratos ofrecidos. La selección adversa ocurre cuando los potenciales asegurados poseen información relevante sobre su nivel de riesgo que el asegurador no observa completamente antes de establecer el contrato. Si la prima no distingue adecuadamente entre diferentes niveles de riesgo, los individuos con mayor probabilidad esperada de pérdida pueden tener mayores incentivos para adquirir cobertura, alterando la composición de la cartera asegurada.

En el ámbito agrícola, este problema adquiere características particulares porque el productor puede disponer de información específica sobre la calidad de su parcela, las condiciones locales, su historial productivo o las prácticas de manejo que no son observables con la misma precisión por el asegurador. Goodwin (2001) identifica la selección adversa entre los problemas que dificultan el

funcionamiento de los mercados de seguro agrícola. Su presencia no debe suponerse de manera automática, pero la clasificación del riesgo, la información utilizada para establecer la cobertura y la estructura de las primas deben considerar su posible existencia.

El riesgo moral, por su parte, se relaciona con modificaciones en las acciones o decisiones del asegurado después de haber contratado la cobertura. Pauly (1968) mostró que la transferencia de parte de las consecuencias económicas de una pérdida puede modificar los incentivos del individuo, mientras que Holmström (1979) formalizó el problema cuando las acciones del agente no son perfectamente observables por quien diseña el contrato. En agricultura, este fenómeno puede manifestarse si la existencia del seguro altera decisiones relacionadas con el esfuerzo, el uso de insumos, la prevención o determinadas prácticas de manejo. Su presencia y magnitud dependen de las características del contrato y del comportamiento de los productores, por lo que no puede suponerse que cualquier modalidad de aseguramiento lo genere o elimine.

La evidencia empírica confirma la importancia de considerar la relación entre seguro e incentivos. Smith y Goodwin (1996), al analizar productores de trigo de temporal en Estados Unidos, encontraron diferencias en el uso de insumos asociadas con la participación en programas de seguro agrícola. Este resultado no implica que el riesgo moral ocurra de manera uniforme, sino que muestra la necesidad de evaluar cómo las reglas contractuales interactúan con las decisiones productivas. Mecanismos como los deducibles y las coberturas parciales pueden conservar una fracción del riesgo bajo responsabilidad del asegurado, aunque sus efectos sobre el comportamiento requieren comprobación empírica.

En consecuencia, el diseño de un seguro agrícola implica un equilibrio entre transferencia de riesgo, protección del productor, información e incentivos. La utilización de deducibles, coberturas parciales, clasificación de riesgos o reglas de activación basadas en información observable puede contribuir a administrar

algunos de estos problemas, pero ninguno de estos mecanismos elimina por definición la selección adversa o el riesgo moral. En el esquema analizado en esta investigación, no se incorpora un deducible convencional; la existencia de un umbral de activación y de una indemnización fija parcial mantiene una fracción del riesgo a cargo del productor. Sin embargo, la información disponible no permite observar decisiones agronómicas o de contratación, por lo que sus posibles efectos sobre el riesgo moral y la selección adversa no se estiman empíricamente.

Finalmente, las asimetrías de información no constituyen las únicas dificultades del aseguramiento agrícola. El riesgo de base asociado con determinados mecanismos de activación y el riesgo sistémico derivado de pérdidas correlacionadas entre productores plantean problemas distintos, por lo que se examinan posteriormente en los apartados correspondientes a seguros basados en rendimientos e índices y a la suficiencia financiera de mecanismos mutuales.

2.3 Evolución institucional del seguro agrícola y fondos de aseguramiento en México

El desarrollo del seguro agrícola en México ha estado estrechamente vinculado con la intervención pública, el financiamiento rural y la organización de los productores. Su evolución institucional ha transitado desde experiencias mutualistas y esquemas operados directamente por el Estado hacia una estructura en la que participan organizaciones de productores, aseguradoras y entidades públicas vinculadas con el aseguramiento y reaseguro agropecuario. Díaz Tapia (2006) documenta esta transformación institucional, mientras que Ocampo-Ledesma *et al.* (2026) muestran, desde una perspectiva histórica, la continuidad de la participación estatal bajo distintas modalidades. En años recientes, Solano-Alonso *et al.* (2021) destacan además las restricciones institucionales y operativas que continúan condicionando el alcance del seguro agropecuario en México.

Los antecedentes del mutualismo agropecuario mexicano preceden a la consolidación del aseguramiento público. Durante la primera mitad del siglo XX

se desarrollaron experiencias organizadas por productores para compartir colectivamente determinadas pérdidas agrícolas. Estas iniciativas constituyeron antecedentes de formas posteriores de organización mutual y reflejaron una lógica basada en la distribución del riesgo entre participantes expuestos a contingencias similares. Lases Zayas (2010) documenta la evolución de estas experiencias y su relación con el posterior desarrollo de los Fondos de Aseguramiento.

La participación estatal adquirió mayor relevancia durante la segunda mitad del siglo XX. En 1963 se consolidó la creación de la Aseguradora Nacional Agrícola y Ganadera, S.A. (ANAGSA), institución que durante varias décadas ocupó una posición central en el aseguramiento agropecuario y mantuvo una estrecha relación con el crédito rural (Díaz Tapia, 2006; Ocampo-Ledesma *et al.*, 2026). Este modelo amplió el alcance del aseguramiento, pero enfrentó problemas financieros y operativos que condujeron a la desaparición de ANAGSA en 1990. En junio de ese mismo año se creó AGROASEMEX como parte de la reorganización del sistema de aseguramiento agropecuario mexicano (Ocampo-Ledesma *et al.*, 2026).

Entre 1990 y 2001, AGROASEMEX participó directamente en la provisión de seguros a productores y promovió simultáneamente la creación y operación de Fondos de Aseguramiento. A partir de 2001, la institución modificó su orientación hacia una operación predominantemente de segundo piso, concentrándose en funciones de reaseguro, desarrollo de productos, capacitación y apoyo a los fondos y otros participantes del mercado (AGROASEMEX, 2018). Esta transformación contribuyó a una mayor participación de organizaciones mutualistas y compañías aseguradoras en la provisión directa de coberturas agropecuarias.

Dentro de esta evolución, los Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural constituyen una modalidad formal de organización mutualista de productores. Su marco jurídico específico se estableció con la publicación de la Ley de Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural (LFAAR) el 13 de mayo de 2005. De

acuerdo con su artículo 1, la Ley regula la organización, funcionamiento y operación del Sistema de Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural, mientras que el artículo 3 establece que los fondos tienen por objeto ofrecer protección mutualista y solidaria a sus socios mediante operaciones de seguros y coaseguros (Cámara de Diputados, 2025). El texto vigente de la Ley registra como última reforma la publicada el 14 de noviembre de 2025.

La operación de estos fondos no se limita a la acumulación de aportaciones entre sus participantes. La LFAAR establece que sus operaciones deben estar respaldadas por reservas técnicas y, según corresponda, por mecanismos de reaseguro, coaseguro y fondos de retención de riesgos. En particular, el artículo 37 limita el riesgo que puede retener directamente un fondo en función de sus reservas y dispone que la exposición que exceda esa capacidad debe contar con mecanismos adicionales de respaldo (Cámara de Diputados, 2025). Estos elementos resultan relevantes porque muestran que la mutualidad no elimina la necesidad de administrar la concentración de pérdidas ni de mantener capacidad financiera suficiente, aspectos que se desarrollan con mayor detalle en el apartado 2.7.

La experiencia de los Fondos de Aseguramiento constituye un antecedente institucional relevante para esta investigación, aunque debe distinguirse del esquema evaluado en la tesis. El fondo utilizado en la simulación es hipotético y no representa un Fondo de Aseguramiento constituido o registrado conforme a la legislación mexicana. Estos organismos se consideran únicamente como referente de una lógica mutual basada en aportaciones de los participantes, acumulación colectiva de recursos y compensación ante pérdidas. Una eventual implementación del esquema propuesto requeriría cumplir condiciones jurídicas, actuariales, administrativas y operativas que exceden el alcance de la presente investigación.

El Cuadro 2.2 sintetiza los principales hitos de esta evolución y permite observar el tránsito desde las primeras experiencias mutualistas y el predominio del

aseguramiento estatal hacia una estructura con mayor participación de organizaciones de productores y otros actores.

Cuadro 2.2. Principales hitos en la evolución institucional del seguro agropecuario en México

Periodo / año	Hito institucional	Relevancia
Primera mitad del siglo XX	Desarrollo de experiencias mutualistas de productores	Antecedentes de mecanismos colectivos de distribución del riesgo agrícola
1963	Consolidación de ANAGSA	Fortalecimiento de la participación directa del Estado en el aseguramiento agropecuario
1990	Desaparición de ANAGSA	Cierre del modelo de aseguramiento público directo predominante en las décadas anteriores
1990	Creación de AGROASEMEX	Reorganización institucional del sistema de aseguramiento agropecuario
1990–2001	AGROASEMEX participa en aseguramiento directo y promueve Fondos de Aseguramiento	Desarrollo de productos, fondos y mecanismos de reaseguro
Desde 2001	Reorientación de AGROASEMEX hacia una operación predominantemente de segundo piso	Mayor énfasis en reaseguro, fomento, capacitación y apoyo al sistema
2005	Publicación de la LFAAR	Establecimiento de un marco jurídico específico para los Fondos de Aseguramiento
2025	Última reforma publicada de la LFAAR	Actualización del texto normativo vigente

Fuente: elaboración propia con base en Díaz Tapia (2006), Lases Zayas (2010), Solano-Alonso et al. (2021), Ocampo-Ledesma et al. (2026) y Cámara de Diputados (2025).

La existencia de este marco institucional no implica necesariamente un acceso generalizado de los productores al aseguramiento. Por ello, el siguiente apartado examina la cobertura y los principales factores asociados con la adopción del seguro agrícola.

2.4 Cobertura y determinantes de la adopción del seguro agrícola

La exposición al riesgo productivo no se traduce necesariamente en una elevada contratación de seguros agrícolas. En países en desarrollo y economías emergentes, la participación de los productores continúa siendo limitada aun cuando enfrentan riesgos climáticos y productivos importantes. A partir de una revisión de la literatura, Ali *et al.* (2020) muestran que la aversión al riesgo no explica por sí sola la demanda de aseguramiento; también intervienen restricciones de liquidez, preferencias intertemporales, confianza y riesgo de base. Por tanto, la disposición de un productor a reducir la incertidumbre no implica automáticamente que contrate un seguro agrícola.

Las restricciones de liquidez pueden ser especialmente relevantes cuando el pago de la prima coincide con otros gastos del ciclo productivo. Asimismo, dado que el beneficio del seguro es contingente y depende de la ocurrencia de un evento cubierto, la comprensión de las reglas contractuales y la confianza en que el mecanismo responderá conforme a lo establecido pueden influir en la decisión de contratación (Ali *et al.*, 2020). Kramer *et al.* (2022) señalan además que una parte de los hogares agrícolas puede quedar excluida del mercado de aseguramiento y destacan la necesidad de que los instrumentos sean accesibles y adecuados a las características de la población que pretenden proteger.

En México, la información del Censo Agropecuario 2022 confirma el reducido acceso formal al seguro. De las 4,629,134 unidades de producción agropecuaria registradas en el país, 89,860 reportaron haber obtenido seguro, equivalentes a 1.9% del total (INEGI, 2023a). En el Estado de México, de 399,260 unidades de producción agropecuaria, solamente 304 reportaron obtención de seguro, aproximadamente 0.1% (INEGI, 2023b). Estas cifras se refieren a la proporción de unidades de producción que reportaron obtener seguro y no deben interpretarse como porcentajes de superficie asegurada, número de pólizas o valor de la producción cubierta, ya que corresponden a unidades de medición distintas.

La adopción tampoco puede analizarse suponiendo una población homogénea de productores. Las unidades agrícolas difieren en escala, recursos, tecnología, experiencia, vinculación con los mercados y capacidad para absorber pérdidas. Borja-Bravo *et al.* (2025), al analizar productores de maíz de temporal en Jalisco, identificaron grupos con diferencias productivas, económicas y sociales relevantes. Por su parte, Portillo Vázquez *et al.* (2020) destacan la necesidad de desarrollar alternativas de aseguramiento adecuadas a las condiciones de los pequeños productores agrícolas. Esta heterogeneidad implica que una misma prima, nivel de cobertura o regla contractual puede ser valorada de manera diferente entre productores.

En conjunto, la literatura indica que la adopción del seguro agrícola depende de una combinación de preferencias frente al riesgo, restricciones económicas, confianza, características del producto y heterogeneidad de las unidades productivas. Por ello, la existencia de riesgo y la posibilidad de obtener una ganancia de bienestar mediante aseguramiento no garantizan por sí mismas su contratación. Esta distinción resulta particularmente importante para la presente investigación: el análisis de utilidad desarrollado posteriormente permite evaluar cómo cambia la valoración del seguro bajo distintos niveles de aversión al riesgo, pero no constituye una estimación de la demanda efectiva ni de la probabilidad de contratación de los productores del Estado de México. Las características de los distintos mecanismos de aseguramiento y la correspondencia entre sus reglas de activación y las pérdidas experimentadas se examinan en el apartado siguiente.

2.5 Mecanismos de activación en seguros agrícolas: rendimiento de área, índices y riesgo de base

Una característica central del diseño de un seguro agrícola es la regla mediante la cual se determina si ocurrió una pérdida cubierta y, en consecuencia, si corresponde realizar una indemnización. En los seguros indemnizatorios tradicionales, esta determinación se basa en la pérdida observada del productor asegurado, lo que permite una correspondencia relativamente directa entre daño

y compensación, pero exige información y mecanismos de verificación a nivel individual. Como alternativa, existen modalidades en las que el pago se activa mediante variables agregadas u otros indicadores observables, reduciendo algunos requerimientos de información y verificación.

El seguro de rendimiento de área constituye uno de los principales antecedentes de esta lógica. Miranda (1991) propuso que las primas y las indemnizaciones se determinaran con base en el rendimiento agregado de una zona geográfica, en lugar del rendimiento particular de cada explotación. Bajo este esquema, el pago depende de que el rendimiento del área se ubique por debajo de un nivel previamente establecido. Debido a que un productor individual tiene capacidad limitada para modificar el rendimiento agregado de la zona, este mecanismo puede reducir algunos problemas de selección adversa y riesgo moral asociados con los seguros basados en pérdidas individuales, aunque no los elimina necesariamente.

La aplicación práctica de un seguro de rendimiento de área requiere definir la unidad territorial, el rendimiento esperado, el nivel de cobertura y el procedimiento de indemnización. Skees, Black y Barnett (1997), al documentar el diseño del *Group Risk Plan* en Estados Unidos, muestran un contrato en el que las indemnizaciones se determinaban a partir de la caída porcentual del rendimiento observado del condado respecto de un rendimiento pronosticado, utilizando información histórica para establecer rendimientos esperados y tarifas. Esta modalidad reduce la necesidad de verificar individualmente las pérdidas, pero su capacidad para proteger a cada productor depende de la relación entre su rendimiento particular y el rendimiento agregado del área.

Los seguros indexados extienden este principio al utilizar variables observables distintas de la pérdida individual como base para determinar el pago. Los índices pueden construirse a partir de precipitación, temperatura, humedad, vegetación observada mediante sensores remotos u otras variables relacionadas con el riesgo asegurado. Barnett y Mahul (2007) destacan que los seguros climáticos indexados permiten establecer indemnizaciones a partir del valor observado del

índice sin necesidad de evaluar individualmente la pérdida, lo que puede simplificar la operación y reducir costos de verificación. Sin embargo, la utilidad del instrumento depende de que el indicador guarde una relación suficientemente estrecha con la pérdida que pretende cubrir.

La principal limitación de estos mecanismos es el riesgo de base, entendido como la discrepancia entre la indemnización generada por el indicador y la pérdida efectivamente experimentada por el asegurado. Puede ocurrir que un productor registre una pérdida importante sin que el indicador alcance el nivel necesario para activar el pago, o que se genere una indemnización aun cuando su pérdida individual sea reducida. Esta discrepancia puede originarse en diferencias espaciales, temporales o productivas entre las condiciones particulares de la unidad asegurada y la información representada por el índice. Jensen y Barrett (2017) señalan que esta relación imperfecta entre las pérdidas reales y las indemnizaciones constituye uno de los principales desafíos del aseguramiento indexado.

El riesgo de base posee también implicaciones para la valoración y contratación del seguro. Clarke (2016) muestra teóricamente que una protección incompleta puede reducir la demanda incluso cuando la prima sea actuarialmente justa. La evidencia empírica para seguros indexados de ganado en Kenia muestra igualmente que el riesgo de base y su variación espacial influyen en la decisión de contratación (Jensen *et al.*, 2018). Por ello, la calidad de un mecanismo basado en índices no depende únicamente de la objetividad de su regla de activación o del nivel de la prima, sino también de su capacidad para representar las pérdidas de los asegurados.

En México también existen antecedentes de diseños que utilizan información histórica de rendimientos para estructurar esquemas de aseguramiento dirigidos a pequeños productores. Ayvar Vargas *et al.* (2018) propusieron para productores de maíz en Puebla un esquema cuyas variables financieras se estimaron mediante una regresión lineal aplicada a rendimientos históricos regionales. Este trabajo constituye un antecedente relevante por utilizar

información de rendimientos en la formulación del seguro, aunque su estructura no debe equipararse automáticamente con un seguro de rendimiento de área o con un seguro paramétrico, debido a que combina el análisis de tendencia con la determinación monetaria de la prima y la suma asegurada.

La distinción entre estos mecanismos es particularmente importante para interpretar la presente investigación. En la simulación desarrollada en esta tesis, el rendimiento estatal homogeneizado se utiliza para calibrar los umbrales y, cuando cruza el nivel correspondiente, se trata como un evento común de estrés para la cartera hipotética. Esta formulación comparte elementos con una regla de activación basada en rendimiento de área, pero no constituye una implementación empírica de un seguro de rendimiento de área, ya que se dispone únicamente de una serie estatal agregada y no de rendimientos individuales observados de productores asegurados. Por ello, el ejercicio permite evaluar la suficiencia actuarial y financiera del fondo bajo una regla territorial común, pero no estimar el riesgo de base experimentado por productores reales. Una aplicación operativa requeriría evaluar la relación entre el rendimiento territorial utilizado como activador y las pérdidas individuales, o bien incorporar mecanismos de observación individual si la cobertura se diseñara sobre esa base.

El Cuadro 2.3 sintetiza las principales diferencias entre estos mecanismos y sus implicaciones para el diseño del aseguramiento agrícola.

Cuadro 2.3. Características de los principales mecanismos de activación en seguros agrícolas

Modalidad	Base para determinar la indemnización	Principal ventaja	Principal limitación	Referencias
Indemnizatorio individual	Pérdida o rendimiento observado del productor	Mayor correspondencia potencial entre pérdida individual e indemnización	Requiere información y verificación individual; puede enfrentar problemas de información e incentivos	Goodwin (2001)
Rendimiento de área	Rendimiento agregado de una zona geográfica respecto de un umbral	Reduce la dependencia de la observación individual y puede disminuir problemas de información e incentivos	Riesgo de base cuando el rendimiento individual difiere del rendimiento del área	Miranda (1991); Skees et al. (1997)
Índice climático	Variables como precipitación, temperatura u otras condiciones meteorológicas	Regla observable y menor necesidad de evaluar pérdidas individuales	El índice puede no representar adecuadamente la pérdida del productor	Barnett y Mahul (2007); Jensen y Barrett (2017)
Índices derivados de información remota u otros indicadores	Variables observadas mediante sensores, vegetación u otros indicadores objetivos	Posibilidad de cobertura en áreas extensas y automatización de la activación	La relación entre el indicador y la pérdida puede ser imperfecta	Jensen y Barrett (2017); Jensen et al. (2018)

Fuente: elaboración propia con base en Miranda (1991), Skees et al. (1997), Barnett y Mahul (2007), Clarke (2016), Jensen y Barrett (2017) y Jensen et al. (2018).

Como muestra el Cuadro 2.3, ningún mecanismo de activación está exento de ventajas y limitaciones. Una mayor correspondencia con la pérdida individual suele requerir más información y verificación, mientras que el uso de variables agregadas u observables simplifica ciertos aspectos operativos, pero puede aumentar la discrepancia entre la pérdida experimentada y la indemnización. La elección del mecanismo depende, por tanto, de la disponibilidad y calidad de la información, la escala geográfica de operación y el nivel de riesgo de base que resulte aceptable.

Finalmente, cuando los rendimientos históricos se utilizan para definir niveles esperados, umbrales o tarifas, su comparabilidad temporal se convierte en un

aspecto metodológico fundamental. Los cambios tecnológicos pueden modificar el nivel del rendimiento a lo largo del tiempo, por lo que utilizar directamente una serie histórica sin considerar su tendencia puede alterar la caracterización del riesgo y la calibración del contrato. Este problema constituye el objeto del apartado siguiente.

2.6 Tendencia tecnológica y homogeneización de rendimientos para la evaluación del riesgo

Las series históricas de rendimientos agrícolas pueden presentar cambios sistemáticos a lo largo del tiempo asociados con innovaciones tecnológicas, mejoramiento genético, modificaciones en las prácticas de manejo y otras transformaciones del sistema productivo. En consecuencia, observaciones correspondientes a distintos años no necesariamente representan un mismo nivel productivo de referencia. Esta característica es relevante para la evaluación del riesgo, ya que utilizar directamente una serie con tendencia puede confundir cambios en el rendimiento esperado con las fluctuaciones interanuales alrededor de dicho nivel (Finger, 2010; Tolhurst y Ker, 2015).

En términos estadísticos, una serie de rendimientos puede representarse mediante un componente sistemático y un componente residual. En su forma lineal más sencilla:

$$R_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad (2.2)$$

donde R_t representa el rendimiento observado en el año t , α es el intercepto, β representa el cambio tendencial por unidad de tiempo y ε_t corresponde a la desviación del rendimiento respecto de la tendencia estimada. Esta especificación permite separar estadísticamente el movimiento sistemático de largo plazo de las desviaciones interanuales, aunque la estimación de una tendencia no implica identificar causalmente todos los factores responsables de su evolución.

El tratamiento de la tendencia adquiere especial importancia cuando los rendimientos históricos se utilizan para caracterizar el riesgo o calibrar parámetros de aseguramiento. Finger (2010) comparó el desempeño de mínimos

cuadrados ordinarios con métodos de regresión robusta para eliminar tendencias en series de rendimientos y mostró que ambos pueden producir resultados similares cuando las series no contienen observaciones atípicas, mientras que los estimadores robustos pueden presentar ventajas cuando existen datos contaminados por valores extremos. Por ello, la elección del procedimiento de ajuste debe responder a las características de la serie y no considerarse una transformación puramente mecánica.

El cambio temporal de los rendimientos tampoco implica necesariamente un desplazamiento uniforme de toda su distribución. Tolhurst y Ker (2015) muestran que las tasas de cambio tecnológico pueden diferir entre distintos componentes de la distribución, de modo que modelar una tendencia idéntica para todos ellos constituye una simplificación. Ker y Tolhurst (2019) señalan además que la variabilidad puede cambiar a través del tiempo y presentar comportamientos distintos entre las colas de la distribución. Este aspecto es especialmente relevante para el aseguramiento agrícola, dado que la probabilidad y magnitud de los rendimientos bajos influyen directamente en la caracterización de las pérdidas.

La necesidad de ajustar los historiales de rendimiento también se reconoce en la práctica aseguradora. La Risk Management Agency del Departamento de Agricultura de Estados Unidos utiliza procedimientos de *Trend-Adjusted Actual Production History (USDA-RMA, 2022)* para incorporar ajustes por tendencia en determinados historiales empleados en la determinación de coberturas. Este antecedente muestra que la comparabilidad temporal de los rendimientos constituye un problema operativo reconocido en el aseguramiento agrícola, aunque los procedimientos específicos dependen del programa y de la información disponible.

En esta investigación, el término homogeneización se utiliza para referirse a la transformación de los rendimientos históricos hacia un nivel tendencial de referencia común. Una vez estimada la tendencia, se conserva la desviación de cada observación respecto del nivel tendencial estimado correspondiente a su

año y se traslada dicha desviación al nivel tendencial del periodo de referencia. De manera general:

$$\tilde{R}_t = \hat{R}_T + (R_t - \hat{R}_t) \quad (2.3)$$

donde $\tilde{R}_t$ es el rendimiento homogeneizado correspondiente al año t , $\hat{R}_T$ es el rendimiento estimado para el periodo de referencia T , R_t es el rendimiento originalmente observado y $\hat{R}_t$ es el rendimiento estimado por la tendencia para el año t . Si se emplea una tendencia lineal, la misma expresión puede escribirse como:

$$\tilde{R}_t = R_t + \beta(T - t) \quad (2.4)$$

De esta manera, las desviaciones históricas respecto de la tendencia se conservan y se expresan alrededor de un nivel temporal común. El procedimiento no elimina todas las fuentes de heterogeneidad ni implica que los rendimientos transformados hubieran sido efectivamente observados bajo las condiciones tecnológicas del año de referencia. Se trata de una transformación estadística destinada a mejorar la comparabilidad temporal de las observaciones utilizadas para caracterizar el riesgo.

La extensión temporal de la serie constituye otra decisión relevante. Liu y Ker (2020) muestran que incorporar un mayor número de años históricos no necesariamente mejora la estimación de tarifas de seguros de rendimiento de área cuando la distribución de los rendimientos cambia a través del tiempo. Sus resultados indican que observaciones más antiguas pueden diferir suficientemente de las recientes como para que su inclusión indiscriminada afecte la estimación del riesgo contemporáneo.

En síntesis, la homogeneización permite mejorar la comparabilidad temporal de los rendimientos utilizados en la evaluación del riesgo, pero requiere reconocer los supuestos asociados con la tendencia estimada y las limitaciones de representar mediante una transformación estadística la evolución del sistema productivo. En esta investigación, la serie homogeneizada constituye la base

para definir los umbrales de activación y estimar los parámetros actuariales del esquema evaluado.

2.7 Mutualidad, riesgo sistémico y suficiencia financiera del aseguramiento agrícola

La mutualización constituye un mecanismo mediante el cual un conjunto de participantes comparte las consecuencias financieras de eventos inciertos. En un esquema de aseguramiento mutua, las aportaciones de los miembros conforman recursos colectivos destinados al pago de indemnizaciones cuando se cumplen las condiciones establecidas en el contrato. Sin embargo, la capacidad de distribuir las pérdidas no depende únicamente del número de participantes, sino también del grado de dependencia existente entre sus riesgos.

La diversificación es más efectiva cuando los eventos adversos no afectan simultáneamente a todos los integrantes de la cartera. Cuando las pérdidas contienen un componente principalmente idiosincrático, el aumento del número de participantes puede contribuir a estabilizar el comportamiento agregado. En la agricultura, no obstante, sequías, heladas, inundaciones y otros eventos regionales pueden afectar de manera simultánea a numerosas unidades productivas. Esta correlación entre pérdidas genera riesgo sistémico y limita la diversificación convencional del aseguramiento agrícola (Miranda y Glauber, 1997).

Miranda y Glauber (1997) mostraron la relevancia de este problema mediante un modelo empírico del mercado estadounidense de seguros agrícolas. Las carteras analizadas resultaron entre 20 y 50 veces más riesgosas que en una situación hipotética de independencia estadística entre los rendimientos de las explotaciones. Por ello, un mayor número de asegurados no implica necesariamente una reducción proporcional del riesgo cuando las pérdidas están positivamente correlacionadas.

La existencia de riesgo sistémico tampoco implica que toda posibilidad de diversificación desaparezca. La dispersión geográfica, la combinación de cultivos y otras diferencias productivas pueden reducir parcialmente la dependencia de las pérdidas. Wang y Zhang (2003) muestran que la correlación espacial de los rendimientos puede disminuir con la distancia, mientras que Feng y Hayes (2016) analizan la posibilidad de transformar parte del riesgo sistémico en riesgo diversificable mediante la ampliación del conjunto de cultivos y regiones aseguradas. Más recientemente, Fan *et al.* (2026) encontraron, para una cartera hipotética de maíz y soya en Estados Unidos, que la agrupación espacial de pólizas redujo el riesgo agregado y el capital requerido por póliza, aun cuando persistió dependencia espacial.

La presencia de pérdidas correlacionadas tiene implicaciones directas para la suficiencia financiera. Una prima consistente con las pérdidas esperadas puede ser adecuada en promedio y, aun así, resultar insuficiente en determinados momentos si las indemnizaciones se concentran temporalmente. Por ello, la evaluación de un mecanismo de aseguramiento requiere considerar no solo la relación promedio entre primas e indemnizaciones, sino también la trayectoria de los recursos acumulados y la capacidad de absorber déficits transitorios.

Los recursos acumulados durante periodos de menor siniestralidad pueden utilizarse para enfrentar ciclos en los que las indemnizaciones superan las aportaciones recibidas. En consecuencia, un saldo final positivo no garantiza por sí mismo que el fondo haya mantenido suficiencia financiera durante toda su trayectoria. La capacidad de respaldo depende de la frecuencia y severidad de las pérdidas, su dependencia entre asegurados, el nivel de cobertura y la secuencia temporal en que ocurren los eventos. Esta distinción es especialmente relevante para mecanismos mutuales, donde parte de los recursos acumulados debe permanecer disponible para atender obligaciones futuras.

Cuando las pérdidas potenciales exceden la capacidad de retención del fondo, pueden incorporarse mecanismos adicionales de transferencia del riesgo. El reaseguro permite trasladar parte de las pérdidas de mayor severidad a otra

entidad a cambio del pago de una prima. Mahul y Stutley (2010) destacan su importancia en agricultura debido al carácter correlacionado y potencialmente catastrófico de determinados riesgos. En este sentido, reaseguro y acumulación de recursos no son mecanismos excluyentes, sino componentes que pueden combinarse dentro de una estructura de retención y transferencia.

La experiencia mexicana de los Fondos de Aseguramiento ilustra esta necesidad. El Banco Mundial (World Bank, 2013) documentó que estos organismos suelen retener una proporción reducida del riesgo y dependen de mecanismos de reaseguro para sostener su operación; en 2012, AGROASEMEX concentraba la mayor parte de los contratos *stop-loss* de los Fondos. Este antecedente es consistente con el marco institucional revisado en el apartado 2.3 y refuerza el principio de que la mutualidad no elimina la necesidad de respaldo frente a pérdidas concentradas.

Cuadro 2.4. Evidencia sobre riesgo sistémico, diversificación y respaldo financiero en el aseguramiento agrícola

Estudio	Ámbito	Aspecto analizado	Principal aporte
Miranda y Glauber (1997)	Estados Unidos / seguros agrícolas	Correlación entre rendimientos y riesgo de cartera	Las carteras analizadas resultaron entre 20 y 50 veces más riesgosas que bajo el supuesto hipotético de independencia entre rendimientos
Wang y Zhang (2003)	Estados Unidos / producción agrícola	Dependencia espacial y posibilidades de aseguramiento privado	La distribución espacial del riesgo puede generar oportunidades de diversificación entre regiones
World Bank (2013)	México / Fondos de Aseguramiento	Retención del riesgo y reaseguro	Documenta una elevada dependencia de los Fondos respecto de mecanismos de reaseguro
Feng y Hayes (2016)	Estados Unidos / rendimientos agrícolas	Diversificación del riesgo sistémico	Analizan la posibilidad de transformar parte del riesgo sistémico en riesgo diversificable mediante combinaciones espaciales
Fan et al. (2026)	Estados Unidos / maíz y soya	Dependencia espacial, mutualización y requerimientos de capital	La agrupación espacial de pólizas redujo el riesgo agregado y el capital requerido por póliza, aunque persistió dependencia espacial

Fuente: elaboración propia con base en Miranda y Glauber (1997), Wang y Zhang (2003), World Bank (2013), Feng y Hayes (2016) y Fan et al. (2026).

La evidencia sintetizada en el Cuadro 2.4 muestra que la suficiencia financiera de un seguro agrícola no puede evaluarse suponiendo automáticamente independencia entre las pérdidas. Al mismo tiempo, la existencia de correlación no implica que la mutualización carezca de utilidad, ya que la diversificación

espacial y los mecanismos de retención, acumulación de recursos y transferencia pueden reducir la exposición agregada. La estructura adecuada depende de las características de la cartera y de la magnitud del riesgo que el mecanismo pueda retener.

Esta distinción resulta particularmente importante para la presente investigación. La cartera de 1000 productores utilizada en la simulación representa 1000 unidades de exposición dentro de un fondo hipotético, pero no 1000 trayectorias productivas independientes observadas. Debido a que la información disponible corresponde a una serie estatal agregada, los años en que el rendimiento estatal cruza el umbral se tratan como eventos comunes de estrés para la cartera. Este supuesto permite evaluar la suficiencia financiera bajo una trayectoria histórica adversa, pero no reproduce la estructura real de correlación espacial ni implica que todos los productores del Estado de México enfrenten pérdidas idénticas.

Asimismo, el capital mínimo requerido (CMR) utilizado en esta investigación debe interpretarse como un indicador operativo de respaldo dentro de la simulación histórica y no como capital regulatorio de solvencia. Representa la dotación inicial necesaria para evitar que el balance acumulado sea negativo en cualquier momento de la trayectoria evaluada. Su estimación permite identificar el respaldo que habría requerido el fondo bajo esa secuencia histórica, pero no sustituye un análisis formal de solvencia basado en distribuciones probabilísticas de pérdidas, requisitos regulatorios, costos operativos o contratos reales de reaseguro.

En consecuencia, la evaluación de un fondo mutual requiere considerar conjuntamente las aportaciones, la acumulación de recursos, la concentración temporal de las indemnizaciones y la dependencia entre pérdidas. Estos elementos permiten identificar las condiciones financieras bajo las cuales un mecanismo colectivo podría responder ante años adversos. Sobre esta base, el siguiente apartado examina una característica distinta del diseño propuesto: la denominación de primas e indemnizaciones en unidades físicas del producto agrícola.

2.8 Seguro agrícola en especie: denominación física, alcances y requerimientos operativos

La mayoría de los seguros agrícolas expresa las obligaciones contractuales y las indemnizaciones en unidades monetarias. En los seguros basados en rendimiento, la pérdida física del cultivo suele convertirse a un valor monetario mediante una suma asegurada o un valor previamente establecido por unidad de producto; en los seguros de ingreso, además del rendimiento, el precio forma parte explícita del riesgo cubierto (Roberts, 2005; Mahul y Stutley, 2010). Por ello, la unidad en que se denomina el contrato constituye una decisión distinta de la regla utilizada para determinar la ocurrencia del evento cubierto.

En esta investigación se utiliza el término seguro agrícola en especie para referirse a un esquema hipotético en el que tanto las aportaciones como las indemnizaciones se expresan en unidades físicas del producto asegurado, específicamente kilogramos de maíz. Esta característica corresponde a la denominación del contrato: la obligación de aportación y el derecho de indemnización se cuantifican en kg de grano. La simulación contabiliza dichos flujos en unidades físicas, pero no representa la operación efectiva de una red de recepción, almacenamiento y distribución de maíz.

La denominación física permite mantener la calibración actuarial centrada en el riesgo de rendimiento. En un seguro de rendimiento expresado monetariamente, la conversión de una pérdida física a una indemnización requiere asignar un valor económico a las unidades cubiertas. Mahul y Stutley (2010) señalan que este tipo de seguros generalmente relaciona la diferencia entre rendimiento garantizado y observado con un valor previamente definido por unidad de producción. Asimismo, rendimiento y precio constituyen fuentes diferenciadas, aunque relacionadas, de riesgo agrícola (Goodwin y Ker, 2002). En el esquema analizado, la prima y la indemnización permanecen expresadas en kg, por lo que su estimación no requiere seleccionar un precio de mercado como unidad de conversión.

Esta característica no implica que la denominación en especie elimine el riesgo de precios. Los kilogramos aportados o recibidos poseen un valor económico que varía con las condiciones del mercado y, por tanto, su equivalencia monetaria puede cambiar a través del tiempo. La diferencia consiste en que dichas variaciones no forman parte de la regla utilizada para expresar la prima o la indemnización. Así, el esquema permite separar analíticamente la dimensión física del riesgo de rendimiento de la valoración monetaria posterior del producto, pero no protege al productor frente a todas las fuentes de riesgo económico asociadas con la producción o comercialización.

Existen antecedentes de mecanismos de aseguramiento que incorporan formas no monetarias de pago, aunque no son equivalentes al diseño propuesto. Navrud y Vondolia (2020), mediante un experimento de elección con pequeños agricultores de riego en Ghana, compararon primas expresadas en dinero, trabajo y producto cosechado. Sus resultados muestran que la modalidad de pago puede modificar la valoración y contratación del seguro, y documentan específicamente la posibilidad de expresar la prima en unidades de cosecha. En Etiopía, el programa HARITA y posteriormente la iniciativa R4 incorporaron mecanismos de *insurance-for-work*, mediante los cuales agricultores con restricciones de liquidez podían cubrir la prima de un seguro indexado mediante trabajo en actividades comunitarias de reducción del riesgo (Madajewicz *et al.*, 2017). Este mecanismo amplió las posibilidades de acceso al seguro, aunque la indemnización y la estructura contractual difieren de las consideradas en esta investigación.

También existen antecedentes de transferencias en especie vinculadas con la protección de recursos físicos, aunque no necesariamente bajo contratos de seguro. Jourdain *et al.* (2009), al analizar hogares agrícolas en zonas altas de Vietnam dentro de un esquema de pagos por servicios ambientales, encontraron que las transferencias de grano podían resultar relevantes para hogares pobres con acceso limitado a mercados. Este antecedente no constituye un seguro agrícola en especie, pero muestra que una transferencia física puede tener

implicaciones diferentes de una compensación monetaria cuando el producto cumple directamente funciones de consumo o subsistencia.

La denominación del contrato tampoco resuelve por sí misma los problemas generales del aseguramiento agrícola. La selección adversa y el riesgo moral dependen de la información y los incentivos asociados con el diseño contractual; el riesgo de base, de la correspondencia entre el mecanismo de activación y la pérdida experimentada; y el riesgo sistémico, de la dependencia entre las pérdidas de los participantes. Como se analizó en los apartados anteriores, estos problemas pueden existir independientemente de que las obligaciones se expresen en dinero o en unidades físicas. La denominación en kg constituye, por tanto, una característica particular del esquema y no un mecanismo suficiente para eliminar otras fuentes de riesgo contractual o financiero.

Una implementación con liquidación física efectiva introduciría además requerimientos operativos que no se presentan de la misma forma en una transferencia exclusivamente monetaria. El grano recibido o entregado tendría que satisfacer condiciones previamente establecidas de calidad, humedad y características físicas, y sería necesario definir procedimientos de recepción, almacenamiento, conservación, rotación de inventarios, transporte y entrega. La humedad, la temperatura, los insectos y los hongos pueden generar pérdidas de peso y calidad durante el almacenamiento si las condiciones no son adecuadas (FAO, 1985). Por ello, una reserva contabilizada en kg no debe interpretarse automáticamente como equivalente a un inventario físico disponible sin costos, mermas o requerimientos logísticos.

El Cuadro 2.5 sintetiza las principales diferencias entre un seguro de rendimiento denominado en unidades monetarias y el esquema en especie considerado en esta investigación. La comparación se limita a la unidad contractual y a sus implicaciones económicas y operativas, sin atribuir a ninguna modalidad ventajas universales respecto de los problemas de información, riesgo de base o riesgo sistémico.

Cuadro 2.5. Comparación conceptual entre un seguro de rendimiento monetario y el esquema en especie analizado

Dimensión	Seguro de rendimiento monetario	Esquema en especie de la presente investigación
Unidad contractual	Unidades monetarias	Kilogramos de maíz
Expresión de la prima	Valor monetario	kg de maíz
Expresión de la indemnización	Valor monetario asociado a la cobertura	kg de maíz
Papel del precio en la regla de pago	La pérdida física requiere una valoración monetaria previamente definida	No se requiere un precio de mercado para expresar la obligación contractual en kg
Valor económico de la indemnización	Depende del monto monetario recibido y de su poder de compra	El valor monetario de los kg recibidos varía con el precio del maíz
Riesgo de precio del productor	No necesariamente cubierto por un seguro de rendimiento; puede incorporarse explícitamente en seguros de ingreso	No se elimina; queda fuera de la regla de indemnización física
Problemas de información e incentivos	Dependen del mecanismo de activación y diseño contractual	También dependen del mecanismo de activación y diseño contractual; la denominación en kg no los elimina La simulación expresa obligaciones en kg; una liquidación física real requeriría recepción y entrega de grano
Liquidación	Principalmente transferencia monetaria	Además de los anteriores, una liquidación física requeriría estándares de calidad, almacenamiento, control de mermas, rotación y logística
Requerimientos operativos adicionales	Administración, verificación y transferencia del pago	

Fuente: elaboración propia con base en Roberts (2005), Mahul y Stutley (2010), Goodwin y Ker (2002), Navrud y Vondolia (2020) y el diseño conceptual de la presente investigación.

En la revisión de literatura realizada no se identificaron estudios para maíz grano de temporal en México que integren conjuntamente la denominación de prima e indemnización en kilogramos del cultivo, la homogeneización de rendimientos para la calibración actuarial, la evaluación financiera de un fondo mutual y un análisis complementario del bienestar bajo distintos niveles de aversión al riesgo. Esta combinación constituye el elemento específico explorado en la presente investigación. La afirmación se limita al alcance de la revisión efectuada y no implica que las transferencias o mecanismos de aseguramiento con componentes no monetarios carezcan de antecedentes internacionales.

Finalmente, expresar los recursos del aseguramiento en kilogramos resulta particularmente pertinente cuando el producto posee usos que no se limitan a su

venta inmediata. Sin embargo, una mayor disponibilidad física de maíz no constituye por sí misma una medición integral del bienestar del productor. La valoración de una trayectoria de recursos depende también de su variabilidad y de las preferencias frente al riesgo. Por ello, el siguiente apartado desarrolla el vínculo entre recursos físicos, utilidad esperada, aversión al riesgo y equivalente cierto, y delimita el alcance con el que el bienestar se analiza en esta investigación.

2.9 Aversión al riesgo y bienestar: utilidad CRRA, equivalente cierto y prima de riesgo

Los apartados anteriores analizaron el seguro agrícola desde las perspectivas contractual, actuarial y financiera, así como las implicaciones de expresar las aportaciones e indemnizaciones en unidades físicas. En el caso del esquema propuesto, esta denominación permite representar los recursos asociados con el aseguramiento en kilogramos de maíz y compararlos bajo situaciones con y sin cobertura. Sin embargo, una mayor cantidad media de recursos no constituye por sí sola una medida suficiente para valorar una alternativa bajo incertidumbre, ya que un productor averso al riesgo también considera la variabilidad de los resultados posibles.

La expresión del contrato en unidades físicas adquiere particular relevancia cuando el maíz posee usos que no se limitan a su comercialización inmediata, como autoconsumo, semilla, alimentación animal o almacenamiento. En este sentido, la disponibilidad física de grano puede constituir una dimensión económicamente relevante para determinadas unidades productivas. No obstante, no debe identificarse con la seguridad alimentaria en sentido amplio. La FAO (2006) reconoce que esta comprende las dimensiones de disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad, por lo que evaluar únicamente los recursos expresados en maíz no permite determinar si un hogar se encuentra en situación de seguridad alimentaria.

Para incorporar la valoración del riesgo, el análisis puede formularse mediante la teoría de utilidad esperada presentada en el apartado 2.2. Cuando la función de

utilidad es creciente y cóncava, el productor asigna menor utilidad marginal a incrementos sucesivos de recursos y prefiere, manteniendo otras condiciones constantes, trayectorias menos variables. Una especificación utilizada ampliamente en el análisis económico del riesgo es la función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante (CRRA). Chavas (2004) presenta este marco como parte del análisis económico de decisiones bajo incertidumbre, mientras que Pratt (1964) proporciona la base formal para relacionar la curvatura de la función de utilidad con la aversión al riesgo y la prima de riesgo.

Para un nivel positivo de recursos M , la función CRRA puede expresarse como:

$$U(M; \gamma) = \begin{cases} \frac{M^{1-\gamma}-1}{1-\gamma}, & \gamma \neq 1, \\ \ln(M), & \gamma = 1, \end{cases} \quad (2.5)$$

donde M representa los recursos considerados en el análisis y γ es el coeficiente de aversión relativa al riesgo. Bajo esta especificación:

$$-\frac{MU''(M)}{U'(M)} = \gamma \quad (2.6)$$

por lo que γ permanece constante frente a cambios proporcionales en los recursos. Valores mayores de γ representan una mayor penalización de la variabilidad, mientras que valores próximos a cero reflejan una menor aversión al riesgo. A partir de la utilidad esperada puede obtenerse el equivalente cierto (CE), definido como la cantidad segura de recursos que proporciona la misma utilidad que la alternativa incierta. Formalmente:

$$U(CE) = E[U(M)] \quad (2.7)$$

y, por tanto,

$$CE = U^{-1}\{E[U(M)]\}. \quad (2.8)$$

Para un productor averso al riesgo, el equivalente cierto es inferior al valor esperado de una alternativa riesgosa. La diferencia entre ambos puede expresarse como una prima de riesgo:

$$PR = E(M) - CE. \quad (2.9)$$

Esta magnitud representa, en términos de los mismos recursos utilizados en el análisis, el costo que el productor atribuye a la incertidumbre. Pratt (1964) demuestra la relación entre aversión al riesgo, equivalente cierto y prima de riesgo, por lo que estas medidas permiten comparar alternativas que difieren simultáneamente en su nivel medio y en su variabilidad.

Esta distinción es particularmente importante para evaluar el seguro. El pago de una prima puede disminuir los recursos medios del productor, mientras que la indemnización en los estados adversos puede reducir la variabilidad de su trayectoria. En consecuencia, una alternativa asegurada puede presentar un valor esperado ligeramente menor y, al mismo tiempo, un equivalente cierto superior al de la situación sin seguro cuando el productor valora suficientemente la reducción del riesgo. La comparación relevante no depende entonces únicamente de la cantidad promedio de maíz, sino también del grado de aversión al riesgo.

El coeficiente γ constituye una preferencia individual que idealmente debería estimarse con información específica de los productores analizados. Cuando esa información no está disponible, no resulta apropiado atribuirles un único valor de aversión al riesgo. En estas condiciones, una estrategia consiste en realizar un análisis de sensibilidad, calculando el equivalente cierto bajo diferentes valores de γ e identificando, cuando exista, el valor crítico a partir del cual una alternativa asegurada genera un CE superior al de la situación sin cobertura. Este procedimiento permite evaluar cómo cambia la valoración del contrato conforme aumenta la importancia asignada a la estabilidad de los recursos, sin afirmar que un determinado valor de γ represente empíricamente las preferencias de la población estudiada.

La evidencia empírica muestra que la protección frente al riesgo puede tener efectos económicos que exceden la indemnización directamente recibida. Karlan *et al.* (2014) encontraron en Ghana que el acceso a seguro contra riesgos climáticos incrementó la inversión agrícola y favoreció decisiones productivas de mayor riesgo, mientras que Janzen y Carter (2019) mostraron en Kenya que el microseguro redujo estrategias costosas de respuesta a los choques, como la venta de activos productivos y la reducción del consumo de alimentos. Estos efectos no se estiman en la presente investigación, pero ilustran que la valoración económica del aseguramiento puede involucrar diversos canales además del pago de una indemnización.

En esta tesis, el análisis de bienestar posee un alcance más acotado. Los recursos M representan recursos equivalentes expresados en kilogramos de maíz bajo las situaciones con y sin seguro; no representan el ingreso total, la riqueza, el consumo ni el bienestar multidimensional del hogar. Tampoco se estiman empíricamente las preferencias frente al riesgo de los productores del Estado de México. Por ello, las diferencias en equivalente cierto deben interpretarse como una medida de bienestar dentro del marco específico de utilidad esperada aplicado a los recursos considerados en el modelo y no como una estimación integral del bienestar de los productores o de la seguridad alimentaria de sus hogares.

Esta formulación proporciona el fundamento para el análisis complementario desarrollado en el Capítulo 3, donde se comparan las situaciones con y sin aseguramiento mediante utilidad CRRA, equivalente cierto y prima de riesgo bajo distintos niveles de aversión al riesgo.

2.10 Literatura citada

- AGROASEMEX. 2018. *AGROASEMEX: 28 años protegiendo al campo mexicano*. Agroasemex, S.A., Gobierno de México.
- Ali W, Abdulai A y Mishra AK. 2020. Recent advances in the analyses of demand for agricultural insurance in developing and emerging countries. *Annual Review*

- of Resource Economics*. 12: 411–430. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-025306>
- Arrow KJ. 1971. *Essays in the Theory of Risk-Bearing*. Markham Publishing Company, Chicago.
- Arrow KJ. 1974. Optimal insurance and generalized deductibles. *Scandinavian Actuarial Journal*. 1974(1): 1–42. <https://doi.org/10.1080/03461238.1974.10408659>
- Ayvar Vargas M del R, Pérez Zamorano A y Portillo Vázquez M. 2018. Seguro para pequeños productores de maíz en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(4): 761–772. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1393>
- Barnett BJ y Mahul O. 2007. Weather index insurance for agriculture and rural areas in lower-income countries. *American Journal of Agricultural Economics*. 89(5): 1241–1247. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.01091.x>
- Borja-Bravo M, Baltazar-Brenes E y Arellano-Arciniega S. 2025. Tipología de productores de maíz en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 22(4): 597–612. <https://doi.org/10.22231/asyd.v22i4.1747>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2025. *Ley de Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural*. Texto vigente. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2025. México.
- Chavas JP. 2004. *Risk Analysis in Theory and Practice*. Elsevier Academic Press, San Diego, California, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-170621-0.X5000-7>
- Clarke DJ. 2016. A theory of rational demand for index insurance. *American Economic Journal: Microeconomics*. 8(1): 283–306. <https://doi.org/10.1257/mic.20140103>
- Díaz Tapia E. 2006. *El seguro agropecuario en México: experiencias recientes*. Serie Estudios y Perspectivas No. 63. CEPAL, México.
- Estrada F, Mendoza-Ponce A, Calderón-Bustamante O y Botzen W. 2022. Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Regional Environmental Change*. 22: 126. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01986-0>
- Fan F, Liu Y, Ramsey AF y Leatham DJ. 2026. Market insurance and risk pooling in U.S. crop insurance. *Agricultural Economics*. 57(2): e70096. <https://doi.org/10.1111/agec.70096>

- FAO. 1985. *Prevention of Post-Harvest Food Losses: A Training Manual*. FAO Training Series No. 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2006. *Food Security*. Policy Brief, Issue 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Feng X y Hayes D. 2016. Diversifying systemic risk in agriculture. *Agricultural Finance Review*. 76(4): 512–531. <https://doi.org/10.1108/AFR-06-2016-0061>
- Finger R. 2010. Revisiting the evaluation of robust regression techniques for crop yield data detrending. *American Journal of Agricultural Economics*. 92(1): 205–211. <https://doi.org/10.1093/ajae/aap021>
- Goodwin BK. 2001. Problems with market insurance in agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*. 83(3): 643–649. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00184>
- Goodwin BK y Ker AP. 2002. Modeling price and yield risk. In: Just RE, Pope RD (eds.). *A Comprehensive Assessment of the Role of Risk in U.S. Agriculture*. Kluwer Academic Publishers. pp. 289–323. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3583-3_14
- Holmström B. 1979. Moral hazard and observability. *The Bell Journal of Economics*. 10(1): 74–91.
- INEGI. 2023a. *Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- INEGI. 2023b. *Resultados definitivos del Censo Agropecuario 2022 en el Estado de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/C_A_Def2022_EDMX.pdf
- Janzen SA y Carter MR. 2019. After the drought: The impact of microinsurance on consumption smoothing and asset protection. *American Journal of Agricultural Economics*. 101(3): 651–671. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay061>
- Jensen ND y Barrett CB. 2017. Agricultural index insurance for development. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 39(2): 199–219. <https://doi.org/10.1093/aepp/ppw022>
- Jensen ND, Mude AG y Barrett CB. 2018. How basis risk and spatiotemporal adverse selection influence demand for index insurance: Evidence from northern Kenya. *Food Policy*. 74: 172–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.002>

- Jourdain D, Do Anh Tai, Dang Dinh Quang y Pandey S. 2009. Payments for environmental services in upper-catchments of Vietnam: Will it help the poorest? *International Journal of the Commons*. 3(1): 64–81. <https://doi.org/10.18352/ijc.97>
- Just RE y Pope RD. 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. *Journal of Econometrics*. 7(1): 67–86. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(78\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(78)90006-4)
- Karlan D, Osei R, Osei-Akoto I y Udry C. 2014. Agricultural decisions after relaxing credit and risk constraints. *The Quarterly Journal of Economics*. 129(2): 597–652. <https://doi.org/10.1093/qje/qju002>
- Ker AP y Tolhurst TN. 2019. On the treatment of heteroscedasticity in crop yield data. *American Journal of Agricultural Economics*. 101(4): 1247–1261. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaz004>
- Kramer B, Hazell P, Alderman H, Ceballos F, Kumar N y Timu AG. 2022. Is agricultural insurance fulfilling its promise for the developing world? A review of recent evidence. *Annual Review of Resource Economics*. 14: 291–311. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111220-014147>
- Lases Zayas RO. 2010. *Fondos de aseguramiento agropecuario y rural: la experiencia mexicana en el mutualismo agropecuario y sus organizaciones superiores*. Cuadernos de la Fundación No. 149. Fundación MAPFRE, Instituto de Ciencias del Seguro, Madrid.
- Liu Y y Ker AP. 2020. When less is more: On the use of historical yield data with application to rating area crop insurance contracts. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 52(2): 194–203.
- Lobell DB, Schlenker W y Costa-Roberts J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333(6042): 616–620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- López-González JL, Salgado-Villavicencio E, Aguirre-Cadena JF y Méndez-Espinosa JA. 2023. Agricultura de temporal y seguridad alimentaria en familias campesinas, un estudio de caso en Puebla-México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 20(1): 109–124. <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i1.1531>
- Madajewicz M, Tsegay AH y Lee R. 2017. *Managing Risks in Smallholder Agriculture: The Impacts of R4 on Livelihoods in Tigray, Ethiopia from 2012 to 2016*. Oxfam / Columbia University.

- Mahul O y Stutley CJ. 2010. *Government Support to Agricultural Insurance: Challenges and Options for Developing Countries*. World Bank, Washington, D.C. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8217-2>
- Mastachi-Loza CA, Becerril-Piña R, Gómez-Albores MA, Díaz-Delgado C, Romero-Contreras AT, García-Aragón JA y Vizcarra-Bordi I. 2016. Regional analysis of climate variability at three time scales and its effect on rainfed maize production in the Upper Lerma River Basin, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 225: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.041>
- Miranda MJ. 1991. Area-yield crop insurance reconsidered. *American Journal of Agricultural Economics*. 73(2): 233–242. <https://doi.org/10.2307/1242708>
- Miranda MJ y Glauber JW. 1997. Systemic risk, reinsurance, and the failure of crop insurance markets. *American Journal of Agricultural Economics*. 79(1): 206–215. <https://doi.org/10.2307/1243954>
- Murray-Tortarolo GN, Jaramillo VJ y Larsen J. 2018. Food security and climate change: The case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*. 253–254: 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.011>
- Navrud S y Vondolia GK. 2020. Farmers' preferences for reductions in flood risk under monetary and non-monetary payment modes. *Water Resources and Economics*. 30: 100151. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2019.100151>
- Ocampo-Ledesma JG, Altamirano-Cárdenas JR y Palacios-Rangel MI. 2026. Los seguros agrícolas en México, una historia en perspectiva. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 36(67): e261673. <https://doi.org/10.24836/esv36i67.1673>
- Pauly MV. 1968. The economics of moral hazard: Comment. *The American Economic Review*. 58(3): 531–537.
- Portillo Vázquez M, Sangerman-Jarquín DM, Ayvar Vargas M del R y Ramírez Jaspeado R. 2020. Modelo de aseguramiento agrícola privado para pequeños productores agrícolas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6): 1389–1402. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2513>
- Pratt JW. 1964. Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*. 32(1/2): 122–136. <https://doi.org/10.2307/1913738>
- Roberts RAJ. 2005. *Insurance of Crops in Developing Countries*. FAO Agricultural Services Bulletin No. 159. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

- Rothschild M y Stiglitz J. 1976. Equilibrium in competitive insurance markets: An essay on the economics of imperfect information. *The Quarterly Journal of Economics*. 90(4): 629–649. <https://doi.org/10.2307/1885326>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2025. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola / Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Ciudad de México, México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Skees JR, Black JR y Barnett BJ. 1997. Designing and rating an area yield crop insurance contract. *American Journal of Agricultural Economics*. 79(2): 430–438. <https://doi.org/10.2307/1244141>
- Smith VH y Goodwin BK. 1996. Crop insurance, moral hazard, and agricultural chemical use. *American Journal of Agricultural Economics*. 78(2): 428–438. <https://doi.org/10.2307/1243714>
- Solano-Alonso R, Altamirano-Cárdenas JR, Santoyo-Cortés VH 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): e211100. <https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1100>
- Tolhurst TN y Ker AP. 2015. On technological change in crop yields. *American Journal of Agricultural Economics*. 97(1): 137–158. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau082>
- Ureta C, González EJ, Espinosa A, Trueba A, Piñeyro-Nelson A y Álvarez-Buylla ER. 2020. Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*. 177: 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- USDA-RMA. 2022. *Trend-Adjusted Actual Production History Standards Handbook*. FCIC-20220. Risk Management Agency, United States Department of Agriculture.
- von Neumann J y Morgenstern O. 1944. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Wang HH y Zhang H. 2003. On the possibility of a private crop insurance market: A spatial statistics approach. *Journal of Risk and Insurance*. 70(1): 111–124. <https://doi.org/10.1111/1539-6975.00051>
- World Bank. 2013. *Mexico Agriculture Insurance Market Review: Strengthening a Successful Public-Private Partnership*. World Bank, Washington, D.C

3. SEGURO AGRÍCOLA MUTUAL EN ESPECIE PARA MAÍZ DE TEMPORAL: EVALUACIÓN ACTUARIAL, FINANCIERA Y DE BIENESTAR³

3.1 Resumen

La producción de maíz grano de temporal está expuesta a variaciones de rendimiento que afectan el ingreso rural y la disponibilidad física de grano. El objetivo fue evaluar el desempeño actuarial, la viabilidad financiera y, de manera complementaria, el bienestar de un productor representativo bajo un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz de temporal en el Estado de México. Se analizaron 31 observaciones anuales de rendimiento de 1993 a 2023, homogeneizadas respecto del nivel tendencial estimado para 2023, mediante una simulación histórica determinística de estrés aplicada a una cartera hipotética de 1000 productores y 1000 ha. Se evaluaron dos umbrales de activación, con una indemnización fija de 1550 kg ha⁻¹ y un recargo de seguridad de 25%. El escenario A presentó una frecuencia histórica de activación de 3.23%, una prima cobrada de 62.5 kg ha⁻¹ y un capital mínimo requerido de 362.5 ton; en el escenario B estos valores fueron 6.45%, 125 kg ha⁻¹ y 725 ton, respectivamente. Ambos escenarios finalizaron con balances positivos, aunque requirieron un capital inicial equivalente a 5.8 veces la recaudación anual por primas para evitar déficits durante la trayectoria evaluada. Como análisis complementario, se aplicó una función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante (CRRA). El análisis de sensibilidad mostró que el equivalente cierto bajo aseguramiento superó al correspondiente a la situación sin seguro a partir de $\gamma \approx 1.10$ en el escenario A y $\gamma \approx 1.50$ en el escenario B. Los resultados indican que una mayor amplitud de protección incrementa la prima y el capital requerido, mientras que su valoración desde la perspectiva del productor depende del grado de aversión al riesgo.

Palabras clave: aversión al riesgo; capital mínimo requerido; equivalente cierto; fondo mutual; rendimiento homogeneizado.

³ Una versión de este capítulo fue enviada para su consideración a la revista *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*.

3.2 Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo estratégico en México por su importancia alimentaria, económica, social y cultural. En 2023 se sembraron 6.9 millones de hectáreas de maíz en el país y se obtuvo una producción de 27.5 millones de toneladas (SIAP, 2025). Entre las principales entidades productoras se encuentra el Estado de México, donde el cultivo mantiene relevancia tanto por su volumen productivo como por su presencia en unidades agrícolas de distinta escala y orientación productiva.

La producción de maíz de temporal se desarrolla bajo condiciones de riesgo elevado debido a su dependencia de la precipitación y de la regularidad del ciclo agrícola. La variabilidad climática interanual, la irregularidad de las lluvias, las sequías y otros eventos adversos afectan el rendimiento y generan inestabilidad en el ingreso rural. En el Estado de México, estas pérdidas adquieren particular importancia porque el maíz puede destinarse a venta, autoconsumo, semilla, alimentación animal, intercambio local o continuidad del ciclo productivo.

Entre 2018 y 2023, la superficie siniestrada de maíz de temporal a nivel nacional pasó de 2.7 a 6.5% de la superficie sembrada, con la sequía como causa dominante durante el periodo (SIAP, 2025; Cámara de Diputados, 2024). A pesar de esta exposición, el aseguramiento agrícola mantiene una cobertura limitada. De acuerdo con el Censo Agropecuario 2022, solo 1.9% de las unidades de producción agropecuaria en México reportó contar con seguro (INEGI, 2023a), por lo que una proporción importante de productores permanece expuesta a eventos de baja producción sin mecanismos formales de compensación.

El seguro agrícola constituye un instrumento para transferir o compartir el riesgo productivo; sin embargo, su desempeño depende de la regla de activación, la correspondencia entre la pérdida y la indemnización, la unidad en que se expresa la cobertura y la capacidad financiera de la institución o fondo que asume el riesgo. En México, el seguro agropecuario ha sido analizado como instrumento de política pública para la gestión de riesgos, aunque persisten restricciones

operativas e institucionales que limitan su alcance (Solano-Alonso et al., 2021). Algunos estudios han evaluado alternativas para pequeños productores de maíz: Ayvar Vargas et al. (2018) analizaron un esquema de aseguramiento en Puebla, mientras que Portillo Vázquez et al. (2020) propusieron un modelo de aseguramiento agrícola privado. Estos antecedentes muestran la pertinencia de diseñar instrumentos adaptados a condiciones productivas específicas.

Los esquemas de aseguramiento se formulan principalmente en términos monetarios o mediante reglas convencionales de cobertura. Una alternativa poco explorada consiste en denominar la prima y la indemnización en unidades físicas del cultivo. En el caso del maíz, este enfoque permite concentrar el análisis en la pérdida física del producto y establecer la activación mediante umbrales de rendimiento. Asimismo, la homogeneización de los rendimientos respecto de un nivel tendencial estimado para un año base permite separar el componente tendencial de la variabilidad interanual relevante para la calibración del riesgo.

Desde la perspectiva del productor, la valoración del aseguramiento no depende únicamente de la pérdida esperada o de la indemnización, sino también de la variabilidad de los recursos y de las preferencias frente al riesgo. Bajo aversión al riesgo, una distribución incierta de recursos puede generar menor bienestar que recibir con certeza su mismo valor esperado, principio que fundamenta el uso de la utilidad esperada, el equivalente cierto y la prima de riesgo para analizar decisiones bajo incertidumbre (Pratt, 1964; Chavas, 2004). En el ámbito agrícola, la evidencia experimental ha mostrado que los productores pueden presentar funciones de utilidad cóncavas consistentes con aversión al riesgo, por lo que sus preferencias frente al riesgo resultan relevantes para la valoración y el diseño de instrumentos de aseguramiento (Bocquého et al., 2014).

La literatura revisada muestra escasa evidencia empírica sobre esquemas de seguro agrícola mutual en especie para maíz de temporal en México que integren rendimientos homogeneizados, umbrales de activación, estimación de primas y evaluación de la suficiencia financiera de un fondo expresado en unidades físicas de producto. En este contexto, el objetivo de la investigación fue evaluar el

desempeño actuarial y la viabilidad financiera de un esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie para maíz grano de temporal en el Estado de México, bajo dos escenarios de activación definidos a partir de rendimientos homogeneizados. De manera complementaria, se evaluó el bienestar de un productor representativo mediante una función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante, con el propósito de comparar el bienestar asociado con la disponibilidad incierta de recursos en especie con y sin aseguramiento. Se planteó como hipótesis que un umbral de activación más amplio incrementaría la frecuencia histórica de activación, la prima y el capital mínimo requerido, y que la suficiencia financiera del fondo estaría condicionada a la disponibilidad de capital inicial.

3.3 Discusión teórica

El seguro agrícola permite transferir o compartir pérdidas inciertas mediante contratos que establecen una prima, una indemnización y una regla de cobertura. Su desempeño depende de la correspondencia entre la pérdida y el pago, de la información disponible y de la capacidad financiera del mecanismo para responder ante eventos adversos. En países en desarrollo persisten dificultades relacionadas con el diseño, la accesibilidad y la adecuación de las coberturas (Kramer et al., 2022). Para México, Solano-Alonso et al. (2021) señalan restricciones operativas e institucionales que limitan el alcance del seguro agropecuario, mientras que Mazviona et al. (2025) muestran que su adopción varía según las características de los productores y del tipo de cobertura disponible.

La gestión del riesgo agrícola presenta además un componente sistémico, ya que los factores climáticos pueden afectar simultáneamente a numerosas unidades productivas. Gong et al. (2023) muestran que una parte de la variabilidad del rendimiento individual se asocia con condiciones comunes del área, mientras que Shenoy y Korb (2025) señalan que el nivel de agregación espacial condiciona el desempeño de los seguros de rendimiento de área. A ello se suman problemas de información como el riesgo moral y la selección adversa, así como el riesgo

de base cuando el indicador de activación no corresponde con la pérdida experimentada por el asegurado (He et al., 2019; Clarke, 2016; Jensen y Barrett, 2017; Jensen et al., 2018).

La heterogeneidad de las unidades productivas también condiciona la forma en que se experimentan y absorben las pérdidas. Los productores difieren en escala, recursos, destino de la producción y capacidad para enfrentar eventos adversos (Borja-Bravo et al., 2025). En unidades de temporal, una reducción del rendimiento puede afectar tanto el ingreso monetario como la disponibilidad física de grano para consumo, semilla, alimentación animal o intercambio local (López-González et al., 2023).

Desde la teoría de utilidad esperada, la aversión al riesgo puede representarse mediante una función de utilidad creciente y cóncava. Cuando existe variabilidad en los recursos, la desigualdad de Jensen implica que la utilidad esperada de una disponibilidad incierta es menor que la utilidad asociada a recibir con certeza su mismo valor esperado,

$$E[U(M)] < U(E[M]).$$

Esta propiedad fundamenta el uso del equivalente cierto y de la prima de riesgo como medidas del costo de la incertidumbre (Pratt, 1964; Chavas, 2004). En economía agrícola, la identificación empírica de las preferencias frente al riesgo requiere información específica sobre las decisiones de los productores (Just y Pope, 2003), y estudios experimentales con agricultores han encontrado evidencia consistente con aversión al riesgo (Bocquého et al., 2014; Bougherara et al., 2017). En este estudio, dichas preferencias no se estiman para los productores del Estado de México, sino que se incorporan mediante un análisis de sensibilidad aplicado a un productor representativo.

La formulación en especie constituye el elemento distintivo del esquema analizado. La prima y la indemnización se expresan en kilogramos de maíz, lo que concentra el análisis en la pérdida física del producto y separa analíticamente

el riesgo de rendimiento de la variabilidad de precios. El diseño combina un umbral de activación con una indemnización parcial: las reducciones que no cruzan el umbral permanecen a cargo del productor y, una vez activada la cobertura, la indemnización es fija y no necesariamente repone la totalidad de la pérdida. Esta estructura mantiene parte del riesgo fuera de la cobertura, aunque sus efectos sobre los incentivos no pueden inferirse únicamente del diseño contractual (He et al., 2019).

La mutualidad constituye el segundo componente central de la propuesta. Un fondo mutual se basa en aportaciones de los participantes, acumulación de recursos y pago de indemnizaciones cuando se cumplen las condiciones de cobertura. Su sostenibilidad depende de la participación de los productores y de la estructura financiera del mecanismo (Rippo y Cerroni, 2023). Sin embargo, la mutualización no elimina el riesgo sistémico; cuando las pérdidas afectan simultáneamente a numerosas unidades, la disponibilidad de respaldo adquiere especial relevancia. Por ello, la suficiencia financiera y el capital necesario para absorber déficits temporales constituyen componentes centrales de la evaluación del esquema.

3.4 Metodología

Se realizó un estudio cuantitativo, retrospectivo y no experimental, basado en una simulación histórica determinística planteada como ejercicio exploratorio de estrés de cartera. Se utilizó información anual del rendimiento de maíz grano de temporal en el Estado de México para el periodo 1993–2023, con 31 observaciones obtenidas del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2025). Los rendimientos se expresaron en toneladas por hectárea (ton ha^{-1}) y el procesamiento estadístico y las simulaciones se realizaron en R.

El Estado de México se utilizó como unidad territorial debido a la disponibilidad consistente de información histórica a escala estatal durante todo el periodo. La serie representa una referencia agregada de la variabilidad interanual, por lo que el análisis no reproduce la heterogeneidad municipal ni la siniestralidad individual.

Debido a que los rendimientos agrícolas pueden presentar cambios tendenciales asociados con transformaciones tecnológicas y productivas, se estimó una tendencia lineal mediante mínimos cuadrados ordinarios para separar el componente tendencial de la variabilidad interanual:

$$R_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad (1)$$

donde R_t es el rendimiento estatal observado en el año t ; α es la ordenada al origen; β representa el cambio anual del rendimiento; y ε_t es el término de error. La significancia estadística de la pendiente se evaluó mediante una prueba t . Como análisis de sensibilidad, el ajuste se comparó con una regresión robusta basada en un estimador M de Huber.

Los rendimientos se homogeneizaron respecto del nivel tendencial estimado para 2023 mediante:

$$\tilde{R}_t = \hat{R}_{2023} + (R_t - \hat{R}_t), \quad \hat{R}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}t \quad (2)$$

donde $\tilde{R}_t$ es el rendimiento estatal homogeneizado en el año t ; $\hat{R}_t$ es el rendimiento tendencial estimado para el año t ; y $\hat{R}_{2023}$ es el nivel tendencial estimado para 2023. La transformación recentra las desviaciones interanuales alrededor de una referencia productiva común y conserva la variabilidad relevante para el análisis del riesgo (Finger, 2010; Tolhurst y Ker, 2015).

Con la serie homogeneizada se construyó una cartera hipotética de $N = 1000$ productores, cada uno con una hectárea asegurada, para una superficie total de $S = 1000$ ha. Este supuesto representa una aproximación operativa y no un padrón real de asegurados. Debido a que la información disponible corresponde a una serie estatal agregada y no a rendimientos individuales, la activación se determinó mediante una regla territorial común basada en el rendimiento estatal homogeneizado. Cuando dicho rendimiento se ubicó por debajo del umbral correspondiente, el evento se consideró una activación común de la cartera para fines de la simulación financiera. Este supuesto no implica que los productores reales registren rendimientos o pérdidas idénticas, sino que representa un escenario de estrés sistémico utilizado para evaluar la suficiencia financiera del fondo.

La activación del seguro se definió anualmente a partir del rendimiento estatal homogeneizado. La misma regla se aplicó por separado a los escenarios A y B:

$$A_t = \begin{cases} 1, & \tilde{R}_t < U \\ 0, & \tilde{R}_t \geq U \end{cases} \quad (3)$$

donde A_t es el indicador de activación en el año t y U es el umbral del escenario evaluado. Se consideraron dos reglas de activación:

$$U_A = \bar{R} - 2DE, \quad U_B = 0.75\bar{R} \quad (4)$$

donde $\bar{R}$ es la media de la serie homogeneizada y DE su desviación estándar. El escenario A se orientó a eventos extremos de baja producción y el escenario B a una protección más amplia. La distancia entre la media y cada umbral se interpretó como una zona de retención: las reducciones de rendimiento que no cruzan el umbral no generan indemnización.

La prima pura por hectárea se estimó a partir de la frecuencia histórica de activación y de la indemnización fija:

$$PP = f \pi^* \quad (5)$$

donde PP es la prima pura por hectárea; f es la frecuencia histórica de activación del escenario evaluado, calculada como la proporción de años con $A_t=1$ dentro de las 31 observaciones; y $\pi^*=1550 \text{ kg ha}^{-1}$ es la indemnización fija por hectárea, equivalente a 42.7% del rendimiento medio homogeneizado. Este valor se estableció como compensación parcial y no como reposición completa de la pérdida. Debido al reducido número de activaciones históricas, estos indicadores se interpretan como aproximaciones puntuales basadas en la trayectoria observada.

Sobre la prima pura se aplicó un recargo de seguridad de 25% para obtener la prima cobrada:

$$PC = PP(1 + \theta), \quad \theta = 0.25 \quad (6)$$

donde PC es la prima cobrada por hectárea y θ el recargo de seguridad. El valor $\theta=0.25$ se utilizó como parámetro prudencial de diseño orientado a favorecer la acumulación de reservas y no como una tarifa comercial estimada. El ejercicio no incorpora costos operativos, administrativos ni mecanismos de reaseguro.

En cada ciclo se supuso que la prima se aporta al inicio de la cobertura y que la indemnización, en caso de activación, se paga al cierre. Ambas operaciones se incorporaron directamente en la trayectoria del balance acumulado del fondo:

$$B_t = B_{t-1} + PC \cdot S - A_t \cdot \pi^* \cdot S, \quad B_0 = 0 \quad (7)$$

donde B_t es el balance acumulado al final del año t y $S=1000$ ha. La ecuación se aplicó de manera independiente a cada escenario utilizando su prima y su indicador de activación correspondientes. El balance se expresó en kilogramos de maíz como unidad contable y se convirtió a toneladas para su presentación; no supone almacenamiento físico continuo ni incorpora descuento monetario intertemporal.

El capital mínimo requerido (CMR) se definió como el respaldo inicial necesario para impedir que el balance acumulado fuera negativo en cualquier momento del periodo simulado:

$$CMR = \max\{0, -\min_t(B_t)\} \quad (8)$$

Los indicadores de evaluación fueron la frecuencia histórica de activación, la prima pura, la prima cobrada, el CMR, el balance final y la relación entre CMR y recaudación anual. Como análisis de sensibilidad, el CMR se recalculó manteniendo constantes los demás parámetros y variando θ en 0, 25 y 50%. El ejercicio corresponde a una simulación histórica determinística de estrés y no a una proyección de pérdidas futuras.

3.4.1 Evaluación complementaria de bienestar

Como complemento del análisis actuarial y financiero, se evaluó el bienestar de un productor representativo mediante utilidad esperada. Dado que la prima y la indemnización están denominadas en maíz, los recursos se expresaron como disponibilidad neta equivalente de grano por hectárea, sin incorporar precios ni el ingreso monetario del hogar. Se consideraron tres trayectorias:

$$\begin{aligned} M_t^0 &= 1000\tilde{R}_t \\ M_t^A &= 1000\tilde{R}_t - PC_A + \pi^* A_t^A \\ M_t^B &= 1000\tilde{R}_t - PC_B + \pi^* A_t^B \end{aligned} \quad (9)$$

donde M_t^0 representa los recursos sin aseguramiento y M_t^A y M_t^B los recursos bajo los escenarios A y B, respectivamente; el factor 1000 convierte el rendimiento de toneladas a kilogramos por hectárea. Los indicadores de activación correspondientes a A y B determinan la incorporación de la indemnización en cada trayectoria. La prima se descuenta en todos los ciclos y la indemnización fija se incorpora únicamente cuando se activa la cobertura. Las preferencias frente al riesgo se representaron mediante una función de utilidad con aversión relativa al riesgo constante (CRRA) (Pratt, 1964; Chavas, 2004):

$$U(M) = \begin{cases} \frac{M^{1-\gamma}-1}{1-\gamma}, & \gamma \neq 1 \\ \ln(M), & \gamma = 1 \end{cases} \quad (10)$$

donde γ es el coeficiente de aversión relativa al riesgo y $M > 0$ representa la disponibilidad neta equivalente de recursos. Valores $\gamma > 0$ corresponden a aversión al riesgo.

Para comparar las alternativas se calculó el equivalente cierto (CE), expresado en las mismas unidades físicas de los recursos:

$$CE(\gamma) = \begin{cases} \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T M_t^{1-\gamma} \right]^{\frac{1}{1-\gamma}}, & \gamma \neq 1 \\ \exp \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \ln(M_t) \right], & \gamma = 1 \end{cases} \quad (11)$$

donde $T = 31$ y M_t representa la trayectoria de recursos correspondiente a la alternativa evaluada (M_t^0 , M_t^A o M_t^B). Las observaciones recibieron igual ponderación. El equivalente cierto se calculó por separado para obtener CE_0 , CE_A y CE_B .

La prima de riesgo se obtuvo como la diferencia entre la media de los recursos y su equivalente cierto. La ganancia de bienestar asociada al aseguramiento se evaluó mediante $\Delta CE_A = CE_A - CE_0$ y $\Delta CE_B = CE_B - CE_0$; valores positivos indican que el equivalente cierto bajo aseguramiento supera al correspondiente a la situación sin cobertura para el nivel de aversión al riesgo considerado.

Dado que γ no puede estimarse con la información disponible, se utilizó $\gamma = 2$ únicamente como valor de referencia y se realizó un análisis de sensibilidad para valores entre 0.5 y 5. Asimismo, se obtuvieron numéricamente los valores críticos γ_A^* y γ_B^* para los cuales $\Delta CE_A = 0$ y $\Delta CE_B = 0$, respectivamente. Estos valores se interpretan como resultados del ejercicio de sensibilidad y no como estimaciones de las preferencias de los productores del Estado de México.

3.5 Resultados

La estimación de la tendencia lineal del rendimiento mostró una pendiente positiva y estadísticamente diferente de cero ($\beta = 0.02996 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; $p = 0.0139$). La comparación con la regresión robusta basada en el estimador M de Huber produjo resultados similares: la media de la serie homogeneizada fue de $3.633 \text{ ton ha}^{-1}$ mediante mínimos cuadrados ordinarios y de $3.655 \text{ ton ha}^{-1}$ con el ajuste robusto, mientras que las diferencias entre los umbrales resultantes fueron menores a 1%. Por ello, los resultados posteriores se presentan con la estimación mediante mínimos cuadrados ordinarios (Figura 1).

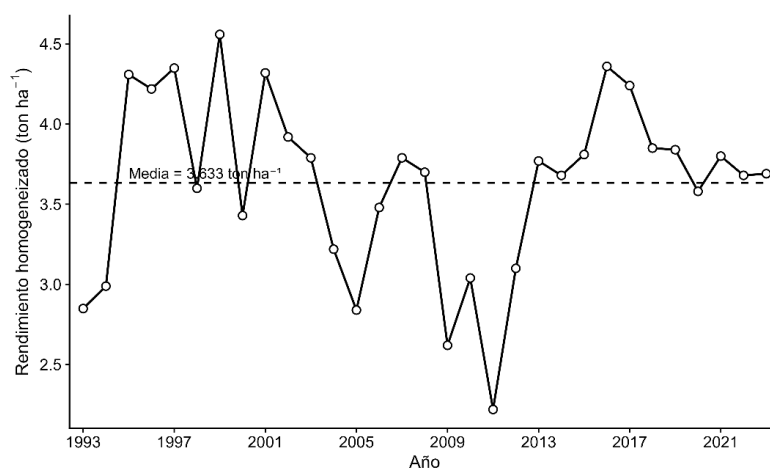


Figura 1. Rendimientos homogeneizados de maíz grano de temporal respecto del nivel tendencial estimado para 2023, Estado de México, 1993–2023.

Fuente: elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2025).

Los umbrales de activación fueron de $2.513 \text{ ton ha}^{-1}$ en el escenario A y $2.725 \text{ ton ha}^{-1}$ en el escenario B. El primero representó una regla de activación más

restrictiva, mientras que el segundo incorporó una mayor proporción de años con rendimientos bajos (Figura 2).

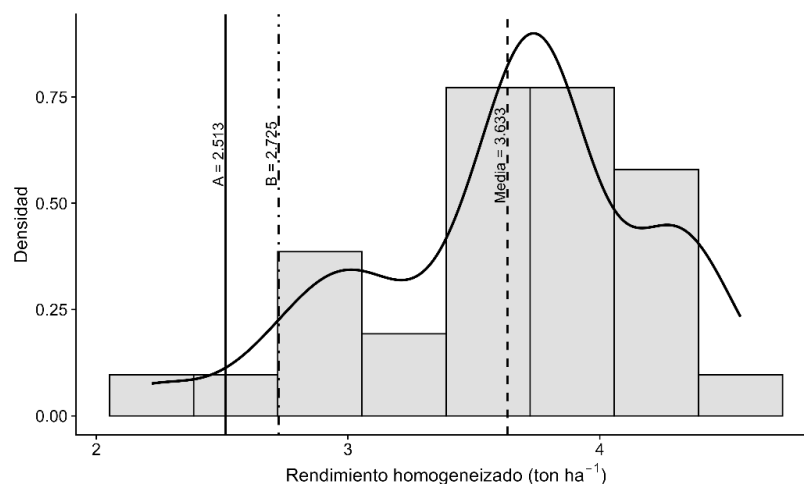


Figura 2. Distribución de rendimientos homogeneizados y umbrales de activación bajo los escenarios A y B.

Fuente: elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2025).

Los indicadores actuariales y financieros difirieron entre escenarios como consecuencia del nivel del umbral de activación (Cuadro 3.1). En ambos casos se mantuvieron constantes la indemnización fija de 1550 kg ha^{-1} y el recargo de seguridad de 25%.

El escenario A registró una frecuencia histórica de activación de 3.23%, correspondiente a 2011, mientras que en el escenario B la frecuencia fue de 6.45%, con activaciones en 2009 y 2011. La prima cobrada fue de 62.5 kg ha^{-1} en A y 125 kg ha^{-1} en B. El capital mínimo requerido ascendió a 362.5 y 725 ton, respectivamente.

Cuadro 3.1 Indicadores actuariales y financieros del esquema de seguro agrícola en especie bajo dos escenarios de activación.

Escenario	Umbral (ton ha ⁻¹)	Prima pura (kg ha ⁻¹)	Prima cobrada (kg ha ⁻¹)	Frecuencia (%)	Capital mínimo requerido (ton)	Balance final (ton)
A (R – 2DE)	2.513	50	62.5	3.23	362.5	+387.5
B (0.75R)	2.725	100	125	6.45	725	+775

Nota: en ambos escenarios se utilizó una indemnización fija de 1550 kg ha⁻¹ y un recargo de seguridad de 25% sobre la prima pura. El capital mínimo requerido corresponde al mayor déficit acumulado observado durante la simulación histórica determinística.

Fuente: elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2025).

La trayectoria del balance acumulado mostró incrementos durante los años sin activación y reducciones en aquellos en que se pagaron indemnizaciones (Figura 3). Aunque ambos escenarios finalizaron con balances positivos, presentaron déficits temporales. El mayor déficit fue de 362.5 ton en el escenario A y de 725 ton en el escenario B, por lo que dichos valores determinaron el capital mínimo requerido. En ambos casos, el CMR fue equivalente a 5.8 veces la recaudación anual por primas.

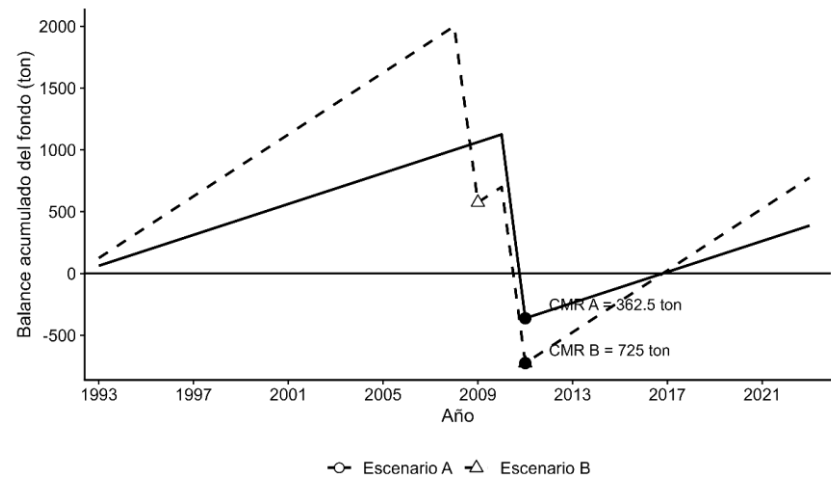


Figura 3. Balance acumulado y capital mínimo requerido del fondo mutual bajo los escenarios A y B, Estado de México, 1993–2023.

Fuente: elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2025).

El análisis de sensibilidad mostró que un mayor recargo de seguridad redujo el capital mínimo requerido (Cuadro 3.2). Sin recargo, el CMR fue de 600 ton en el escenario A y 1200 ton en el escenario B; con un recargo de 50%, disminuyó a 125 y 250 ton, respectivamente.

Cuadro 3.2 Sensibilidad del capital mínimo requerido al recargo de seguridad.

Recargo θ	Capital mínimo requerido A (ton)	Capital mínimo requerido B (ton)
0%	600.0	1200.0
25%	362.5	725.0
50%	125.0	250.0

Nota: el recargo de 25% corresponde al escenario base. Los valores se obtuvieron manteniendo constantes los demás parámetros del esquema.

Fuente: elaboración propia con base en la simulación histórica determinística.

Al pasar de un recargo de 0 a 25%, el CMR disminuyó 39.6% en ambos escenarios, mientras que con un recargo de 50% la reducción fue de 79.2% respecto del caso sin recargo. En términos absolutos, el escenario B requirió el doble de capital que el escenario A bajo los parámetros evaluados.

3.5.1 Análisis complementario de bienestar bajo aversión al riesgo

Para el valor de referencia $\gamma = 2$, la trayectoria de recursos sin aseguramiento cumplió la relación esperada bajo una función CRRA cóncava:

$$E[U(M)] < U(E[M]).$$

El equivalente cierto se ubicó por debajo del valor esperado de los recursos, es decir, $CE < E[M]$, lo que refleja la pérdida de bienestar asociada con la variabilidad de la disponibilidad de grano (Figura 4).

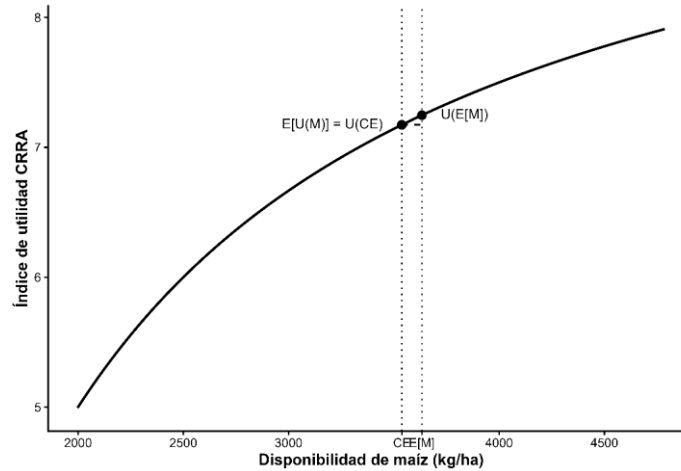


Figura 4. Utilidad esperada y utilidad asociada al valor esperado de los recursos bajo una función CRRA.

Nota: representación para $\gamma = 2$. El equivalente cierto satisface $U(CE) = E[U(M)]$; bajo aversión al riesgo, $E[U(M)] < U(E[M])$ y, por tanto, $CE < E[M]$. El índice de utilidad se presenta mediante una transformación afín positiva únicamente para facilitar su representación gráfica; esta transformación no altera las comparaciones de utilidad esperada. **Fuente:** elaboración propia con base en la serie de rendimientos homogeneizados 1993–2023.

Para $\gamma = 2$, la disponibilidad media fue de $3633.3 \text{ kg ha}^{-1}$ sin seguro, $3620.8 \text{ kg ha}^{-1}$ en el escenario A y $3608.3 \text{ kg ha}^{-1}$ en el escenario B. A pesar de la menor media de recursos en los escenarios asegurados, el equivalente cierto aumentó de $3537.7 \text{ kg ha}^{-1}$ sin seguro a $3550.3 \text{ kg ha}^{-1}$ en A y $3547.8 \text{ kg ha}^{-1}$ en B. La prima de riesgo disminuyó de 95.5 kg ha^{-1} sin seguro a 70.4 kg ha^{-1} en A y 60.5 kg ha^{-1} en B (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3 Recursos medios, equivalente cierto y prima de riesgo bajo $\gamma = 2$.

Escenario	Media de recursos (kg ha ⁻¹)	Equivalente cierto (kg ha ⁻¹)	Prima de riesgo (kg ha ⁻¹)
Sin seguro	3633.3	3537.7	95.5
A	3620.8	3550.3	70.4
B	3608.3	3547.8	60.5

Nota: $\gamma = 2$ se utilizó únicamente como valor de referencia; no corresponde a una estimación de las preferencias de los productores del Estado de México.

Fuente: elaboración propia con base en la serie de rendimientos homogeneizados 1993–2023 y los parámetros del esquema de aseguramiento.

Las ganancias de equivalente cierto respecto de la situación sin seguro fueron de 12.6 kg ha⁻¹ en el escenario A y 10.0 kg ha⁻¹ en el escenario B para $\gamma = 2$. El análisis de sensibilidad mostró que estas diferencias cambian con el grado de aversión al riesgo. Los valores críticos fueron $\gamma_A^* = 1.103$ y $\gamma_B^* = 1.498$; por encima de cada uno, respectivamente, el equivalente cierto del escenario asegurado superó al correspondiente a la situación sin seguro. Para $\gamma = 5$, las ganancias alcanzaron 72.6 kg ha⁻¹ en A y 88.3 kg ha⁻¹ en B (Figura 5).

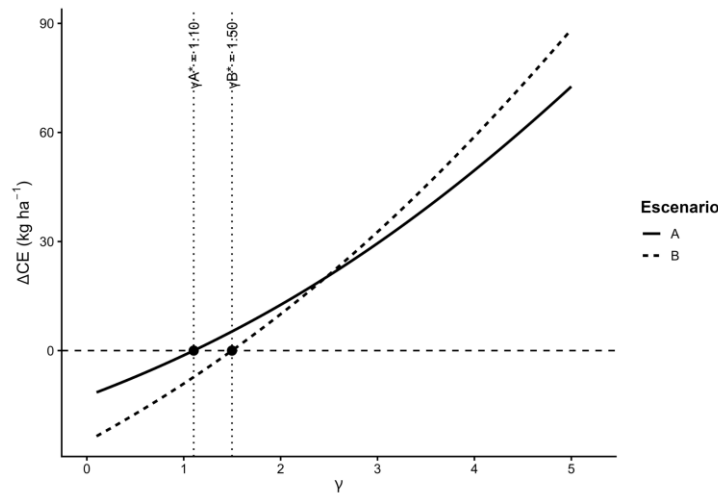


Figura 5. Cambio en el equivalente cierto del aseguramiento bajo distintos niveles de aversión relativa al riesgo.

Nota: $\Delta CE_A = CE_A - CE_0$ y $\Delta CE_B = CE_B - CE_0$. Valores positivos indican que el equivalente cierto bajo aseguramiento supera al de la situación sin cobertura. Las líneas verticales señalan los valores críticos γ_A^* y γ_B^* . Los valores de γ corresponden a escenarios de sensibilidad y no a parámetros estimados para los productores del Estado de México.

Fuente: elaboración propia con base en la serie de rendimientos homogeneizados 1993–2023 y los parámetros del esquema de aseguramiento.

3.6 Discusión

Los resultados muestran que el esquema hipotético de seguro agrícola mutal en especie puede mantener un funcionamiento actuarial y financiero bajo las condiciones históricas evaluadas para maíz grano de temporal en el Estado de México, aunque su operación requiere respaldo inicial para cubrir déficits temporales. Esta interpretación debe mantenerse acotada al carácter del ejercicio,

basado en una simulación histórica determinística, una serie estatal agregada y una cartera hipotética. Por ello, los resultados no representan una tarifa comercial definitiva ni un requerimiento regulatorio de reservas, sino una aproximación al funcionamiento de un fondo mutual expresado en unidades físicas de maíz.

La menor frecuencia de activación y el menor requerimiento de capital del escenario A reflejan el costo de utilizar un umbral más restrictivo. En contraste, el escenario B incorpora una mayor proporción de años de bajo rendimiento y, con ello, incrementa tanto la prima como las obligaciones potenciales del fondo. Este resultado guarda relación con Shenoy y Korb (2025), quienes muestran que el desempeño de los seguros de rendimiento de área depende de la correspondencia entre el indicador agregado y las pérdidas de las unidades aseguradas. En el presente estudio, ampliar la cobertura permitió responder a un evento histórico adicional, aunque a costa de mayores aportaciones y respaldo financiero.

La trayectoria financiera muestra además que alcanzar un saldo final positivo no garantiza la suficiencia del fondo durante todo el periodo. Ambos escenarios presentaron déficits temporales y, bajo el escenario base, el capital mínimo requerido equivalió a 5.8 veces la recaudación anual por primas. Este resultado adquiere relevancia ante el componente sistémico del riesgo agrícola. Gong et al. (2023) encontraron que el riesgo sistémico explica, en promedio, menos de la mitad de la variabilidad total del rendimiento individual, lo que indica que existen componentes comunes de riesgo junto con variaciones específicas de cada unidad productiva. Por ello, el rendimiento estatal utilizado en este estudio debe interpretarse como una referencia agregada de estrés y no como una representación exacta de las pérdidas individuales.

El análisis de sensibilidad al recargo de seguridad evidencia otro intercambio entre aportaciones periódicas y respaldo inicial. Un mayor recargo permite acumular recursos con mayor rapidez y reducir el capital inicial necesario para evitar balances negativos, aunque también aumenta la aportación requerida a los participantes. En consecuencia, el recargo de 25% utilizado como escenario base

debe interpretarse como un parámetro de diseño y no como una tasa óptima. En un esquema mutual, los excedentes acumulados pueden fortalecer la capacidad del fondo para atender obligaciones futuras. La participación de los productores resulta especialmente relevante, ya que la viabilidad financiera de este tipo de mecanismos depende del número de participantes que contribuyen al fondo (Rippo y Cerroni, 2023). Una implementación real requeriría además definir las fuentes de capitalización y los mecanismos de administración y gobernanza.

La denominación en especie constituye una característica distintiva del esquema. Expresar primas e indemnizaciones en kilogramos de maíz permite concentrar la evaluación en la disponibilidad física del producto y separar analíticamente el riesgo de rendimiento de la variabilidad de precios. Sin embargo, los kilogramos utilizados en el modelo funcionan como unidad de cuenta y no implican el almacenamiento continuo del mismo grano durante todo el periodo. Una aplicación práctica tendría que incorporar aspectos relacionados con adquisición, almacenamiento, rotación, transporte y entrega, cuyos costos no fueron considerados en el ejercicio.

El diseño mantiene asimismo una parte del riesgo a cargo del productor. Las reducciones de rendimiento que no alcanzan el umbral no generan indemnización y, una vez activada la cobertura, el pago permanece fijo, por lo que no necesariamente compensa la totalidad de la pérdida. Esta característica puede interpretarse como una retención de riesgo y no como un deducible convencional. No obstante, el presente estudio no permite concluir que esta estructura reduzca por sí misma el riesgo moral o la selección adversa. He et al. (2019) muestran que estos problemas pueden estar relacionados con los incentivos generados por la estructura de indemnización y con información privada de los productores. Su evaluación en el esquema propuesto requeriría observar decisiones individuales de manejo, producción y contratación.

El análisis complementario de bienestar muestra que la conveniencia del aseguramiento no depende únicamente de los recursos medios. Para $\gamma = 2$, los escenarios asegurados presentaron una disponibilidad media ligeramente menor

debido al recargo incorporado a la prima, pero un equivalente cierto superior al de la situación sin seguro. Bajo una función de utilidad cóncava, la transferencia de recursos hacia estados de baja producción puede aumentar el bienestar esperado de un productor adverso al riesgo, aun cuando reduzca ligeramente sus recursos promedio. Estudios experimentales con agricultores han encontrado resultados consistentes con aversión al riesgo bajo distintos marcos de decisión (Bocquého et al., 2014; Bougherara et al., 2017).

Los valores críticos obtenidos muestran además que la valoración de la cobertura depende del grado de aversión al riesgo. El escenario A superó a la situación sin seguro a partir de $\gamma A^* = 1.103$, mientras que el escenario B lo hizo a partir de $\gamma B^* = 1.498$. La menor prima del escenario A favoreció su valoración con niveles relativamente menores de aversión al riesgo; sin embargo, conforme aumentó γ , la cobertura más amplia del escenario B adquirió mayor valor relativo al compensar un evento histórico adicional de baja producción. En consecuencia, ninguno de los escenarios puede considerarse universalmente superior desde la perspectiva del productor. Estos resultados corresponden a un análisis de sensibilidad y no constituyen evidencia sobre las preferencias observadas ni sobre la demanda efectiva del seguro. La identificación empírica de la aversión al riesgo requiere información que permita distinguir su efecto de otros factores que influyen sobre el comportamiento económico (Just y Pope, 2003).

Los resultados deben interpretarse considerando las limitaciones del ejercicio. Las frecuencias históricas de activación se derivan de uno y dos eventos dentro de 31 observaciones, por lo que dependen de una trayectoria temporal limitada. Asimismo, la información estatal agregada no reproduce la heterogeneidad municipal, los rendimientos individuales ni la estructura real de correlación espacial entre productores. Por ello, la cartera de 1000 productores representa un conjunto hipotético de unidades de exposición dentro del ejercicio de estrés y no 1000 trayectorias productivas individuales observadas. El modelo tampoco incorpora costos administrativos y logísticos, reaseguro, mecanismos específicos de gobernanza ni escenarios explícitos de cambio climático. Finalmente, el

análisis CRRA representa únicamente el bienestar asociado con recursos equivalentes en maíz; no considera el ingreso, la riqueza o el consumo total del hogar, y los valores de γ corresponden a escenarios de sensibilidad y no a preferencias estimadas directamente.

Futuras investigaciones podrían incorporar información municipal o individual, costos operativos y logísticos, mecanismos de respaldo financiero y datos microeconómicos sobre contratación y características de los productores. La medición directa de las preferencias frente al riesgo permitiría contrastar empíricamente los resultados de bienestar obtenidos en este ejercicio y evaluar si las diferencias observadas entre los escenarios se reflejan también en decisiones reales de adopción.

3.7 Conclusiones

Bajo las condiciones históricas evaluadas para el maíz grano de temporal en el Estado de México durante 1993–2023, el esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie mostró viabilidad financiera condicionada a la disponibilidad de respaldo inicial. El escenario A presentó menor frecuencia histórica de activación, prima y requerimiento de capital, mientras que el escenario B amplió la protección, aunque con mayores exigencias financieras.

En ambos escenarios se presentaron déficits temporales, por lo que un balance final positivo no garantiza por sí mismo la suficiencia financiera del fondo. El capital mínimo requerido equivalió a 5.8 veces la recaudación anual por primas bajo el escenario base. La denominación de primas e indemnizaciones en kilogramos de maíz permitió mantener el análisis en unidades físicas de producto y constituye el elemento distintivo del esquema propuesto.

El análisis complementario de bienestar mostró que la conveniencia del aseguramiento depende del grado de aversión al riesgo. El equivalente cierto superó al de la situación sin seguro a partir de $\gamma \approx 1.10$ en el escenario A y $\gamma \approx 1.50$ en el escenario B; a mayores niveles de aversión, la cobertura más amplia de B adquirió mayor valor relativo. Estos resultados corresponden a un ejercicio

exploratorio y no constituyen una tarifa comercial ni una estimación de las preferencias de los productores. Su aplicación requeriría información más desagregada, incorporación de costos operativos y una evaluación empírica de las condiciones de implementación.

3.8 Referencias

- Ayvar Vargas MR, Pérez Zamorano A y Portillo Vázquez M. 2018. Seguro para pequeños productores de maíz en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(4): 761–772. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1393>
- Bocquého G, Jacquet F y Reynaud A. 2014. Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics*. 41(1): 135–172. <https://doi.org/10.1093/erae/jbt006>
- Borja-Bravo M, Baltazar-Brenes E y Arellano-Arciniega S. 2025. Tipología de productores de maíz en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 22(4): 597–612. <https://doi.org/10.22231/asyd.v22i4.1747>
- Bougherara D, Gassmann X, Piet L y Reynaud A. 2017. Structural estimation of farmers' risk and ambiguity preferences: a field experiment. *European Review of Agricultural Economics*. 44(5): 782–808. <https://doi.org/10.1093/erae/jbx011>
- Cámara de Diputados. 2024. Maíz y frijol, así los impacta la sequía en la agricultura. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria: Ciudad de México, México. <https://comunicacionsocial.diputados.gob.mx/revista/index.php/nuestros-centros/maiz-y-frijol-asi-los-impacta-la-sequia-en-la-agricultura> (Recuperado: enero 2026).
- Chavas JP. 2004. *Risk Analysis in Theory and Practice*. Elsevier Academic Press: San Diego, CA, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-170621-0.X5000-7>

- Clarke DJ. 2016. A theory of rational demand for index insurance. *American Economic Journal: Microeconomics*. 8(1): 283–306. <https://doi.org/10.1257/mic.20140103>
- Finger R. 2010. Revisiting the evaluation of robust regression techniques for crop yield data detrending. *American Journal of Agricultural Economics*. 92(1): 205–211. <https://doi.org/10.1093/ajae/aap021>
- Gong X, Hennessy DA y Feng H. 2023. Systemic risk, relative subsidy rates, and area yield insurance choice. *American Journal of Agricultural Economics*. 105(3): 888–913. <https://doi.org/10.1111/ajae.12342>
- He J, Zheng X, Reyes RM y Yorobe JM Jr. 2019. Moral hazard and adverse selection effects of cost-of-production crop insurance: evidence from the Philippines. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. 63: 166–197. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12290>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2023a. Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía: Ciudad de México, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/> (Recuperado: enero 2026).
- Jensen ND y Barrett CB. 2017. Agricultural index insurance for development. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 39(2): 199–219. <https://doi.org/10.1093/aep/pw022>
- Jensen ND, Mude AG y Barrett CB. 2018. How basis risk and spatiotemporal adverse selection influence demand for index insurance: evidence from northern Kenya. *Food Policy*. 74: 172–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.002>
- Just RE y Pope RD. 2003. Agricultural risk analysis: adequacy of models, data, and issues. *American Journal of Agricultural Economics*. 85(5): 1249–1256. <https://doi.org/10.1111/j.0092-5853.2003.00538.x>
- Kramer B, Hazell P, Alderman H, Ceballos F, Kumar N y Timu AG. 2022. Is agricultural insurance fulfilling its promise for the developing world? A

review of recent evidence. *Annual Review of Resource Economics*. 14: 291–311. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111220-014147>

López-González JL, Salgado-Villavicencio E, Aguirre-Cadena JF y Méndez-Espinosa JA. 2023. Agricultura de temporal y seguridad alimentaria en familias campesinas, un estudio de caso en Puebla-México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 20(1): 109–124. <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i1.1531>

Mazviona B, Sølvesten S y Palwishah RI. 2025. Intensity of crop and livestock insurance adoption: lessons from Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 30: 72. <https://doi.org/10.1007/s11027-025-10265-2>

Portillo Vázquez M, Sangerman-Jarquín DM, Ayvar Vargas MR y Ramírez Jaspeado R. 2020. Modelo de aseguramiento agrícola privado para pequeños productores agrícolas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6): 1389–1402. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2513>

Pratt JW. 1964. Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*. 32(1/2): 122–136. <https://doi.org/10.2307/1913738>

Rippo R y Cerroni S. 2023. Farmers' participation in the Income Stabilisation Tool: evidence from the apple sector in Italy. *Journal of Agricultural Economics*. 74: 273–294. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12508>

Shenoy A y Korb M. 2025. The economic potential for area-yield crop insurance: an application to maize in Ghana. *Journal of Agricultural Economics*. 76(1): 230–236. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12618>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2025. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola / Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: Ciudad de México, México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Recuperado: octubre 2025).

- Solano-Alonso R, Altamirano-Cárdenas JR, Santoyo-Cortés VH 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): e211100. <https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1100>
- Tolhurst TN y Ker AP. 2015. On technological change in crop yields. American Journal of Agricultural Economics. 97(1): 137–158. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau082>

4. CONCLUSIONES GENERALES

Bajo las condiciones históricas evaluadas para el maíz grano de temporal en el Estado de México durante 1993–2023, el esquema hipotético de seguro agrícola mutual en especie presentó parámetros actuariales plausibles y una viabilidad financiera condicionada a la disponibilidad de respaldo inicial. El escenario con el umbral más restrictivo registró una menor frecuencia histórica de activación, una prima más baja y un menor requerimiento absoluto de capital, mientras que el escenario basado en 75% del rendimiento medio amplió la protección hacia reducciones menos extremas del rendimiento, con mayores exigencias de prima y capital.

La simulación mostró que un balance acumulado final positivo no garantiza suficiencia financiera durante toda la trayectoria. En ambos escenarios se presentaron déficits temporales y el capital mínimo requerido equivalió a 5.8 veces la recaudación anual por primas. Este resultado corresponde a la secuencia histórica utilizada como escenario de estrés y no debe interpretarse como una reserva regulatoria ni como una magnitud directamente generalizable a una implementación comercial. La denominación de primas e indemnizaciones en kilogramos de maíz permitió separar analíticamente el riesgo físico de rendimiento del componente de precios, sin implicar la eliminación del riesgo económico asociado a estos últimos.

El análisis complementario de bienestar mostró que la conveniencia del aseguramiento depende del grado de aversión al riesgo. El equivalente cierto con seguro superó al de la situación sin cobertura a partir de $\gamma \approx 1.10$ en el escenario A y $\gamma \approx 1.50$ en el escenario B. Estos resultados indican que la reducción de la variabilidad puede compensar el costo de la prima para productores suficientemente adversos al riesgo, aun cuando los recursos medios sean ligeramente menores. Los valores de γ representan escenarios de sensibilidad y no estimaciones de las preferencias de los productores del Estado de México.

La propuesta no pretende sustituir los seguros agrícolas convencionales ni constituye una tarifa comercial definitiva. Su contribución consiste en mostrar la plausibilidad actuarial, las necesidades de respaldo financiero y las posibles implicaciones de bienestar de un mecanismo mutual denominado en producto. Sus principales limitaciones derivan del uso de una serie estatal agregada, una cartera hipotética, la ausencia de rendimientos individuales y de estimaciones empíricas de aversión al riesgo, así como de la exclusión de costos administrativos y logísticos. Futuras investigaciones podrán incorporar información de mayor desagregación, costos operativos, mecanismos de gobernanza y reaseguro, preferencias frente al riesgo y escenarios alternativos de pérdidas.

5. LITERATURA CITADA

- AGROASEMEX. 2018. *AGROASEMEX: 28 años protegiendo al campo mexicano*. Agroasemex, S.A., Gobierno de México.
- Ali W, Abdulai A y Mishra AK. 2020. Recent advances in the analyses of demand for agricultural insurance in developing and emerging countries. *Annual Review of Resource Economics*. 12: 411–430. doi:10.1146/annurev-resource-110119-025306.
- Arrow KJ. 1971. *Essays in the Theory of Risk-Bearing*. Markham Publishing Company, Chicago.
- Arrow KJ. 1974. Optimal insurance and generalized deductibles. *Scandinavian Actuarial Journal*. 1974(1): 1–42. doi:10.1080/03461238.1974.10408659.
- Ayvar Vargas M del R, Pérez Zamorano A y Portillo Vázquez M. 2018. Seguro para pequeños productores de maíz en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(4): 761–772. doi:10.29312/remexca.v9i4.1393.
- Barnett BJ y Mahul O. 2007. Weather index insurance for agriculture and rural areas in lower-income countries. *American Journal of Agricultural Economics*. 89(5): 1241–1247. doi:10.1111/j.1467-8276.2007.01091.x.
- Bocquého G, Jacquet F y Reynaud A. 2014. Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics*. 41(1): 135–172. doi:10.1093/erae/jbt006.

- Borja-Bravo M, Baltazar-Brenes E y Arellano-Arciniega S. 2025. Tipología de productores de maíz en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 22(4): 597–612. doi:10.22231/asyd.v22i4.1747.
- Bougherara D, Gassmann X, Piet L y Reynaud A. 2017. Structural estimation of farmers' risk and ambiguity preferences: a field experiment. *European Review of Agricultural Economics*. 44(5): 782–808. doi:10.1093/erae/jbx011.
- Cámara de Diputados. 2024. *Maíz y frijol, así los impacta la sequía en la agricultura*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Ciudad de México, México.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2025. *Ley de Fondos de Aseguramiento Agropecuario y Rural*. Texto vigente. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2025. México.
- Chavas JP. 2004. *Risk Analysis in Theory and Practice*. Elsevier Academic Press, San Diego, CA. doi:10.1016/B978-0-12-170621-0.X5000-7.
- Clarke DJ. 2016. A theory of rational demand for index insurance. *American Economic Journal: Microeconomics*. 8(1): 283–306. doi:10.1257/mic.20140103.
- Díaz Tapia E. 2006. *El seguro agropecuario en México: experiencias recientes*. Serie Estudios y Perspectivas No. 63. CEPAL, México.
- Estrada F, Mendoza-Ponce A, Calderón-Bustamante O y Botzen W. 2022. Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Regional Environmental Change*. 22: 126. doi:10.1007/s10113-022-01986-0.
- Fan F, Liu Y, Ramsey AF y Leatham DJ. 2026. Market insurance and risk pooling in U.S. crop insurance. *Agricultural Economics*. 57(2): e70096. doi:10.1111/agec.70096.
- FAO. 1985. *Prevention of Post-Harvest Food Losses: A Training Manual*. FAO Training Series No. 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2006. *Food Security*. Policy Brief, Issue 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Feng X y Hayes D. 2016. Diversifying systemic risk in agriculture. *Agricultural Finance Review*. 76(4): 512–531. doi:10.1108/AFR-06-2016-0061.
- Finger R. 2010. Revisiting the evaluation of robust regression techniques for crop yield data detrending. *American Journal of Agricultural Economics*. 92(1): 205–211. doi:10.1093/ajae/aap021.
- Gong X, Hennessy DA y Feng H. 2023. Systemic risk, relative subsidy rates, and area yield insurance choice. *American Journal of Agricultural Economics*. 105(3): 888–913. doi:10.1111/ajae.12342.

- Goodwin BK. 2001. Problems with market insurance in agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*. 83(3): 643–649. doi:10.1111/0002-9092.00184.
- Goodwin BK y Ker AP. 2002. Modeling price and yield risk. In: Just RE, Pope RD (eds.). *A Comprehensive Assessment of the Role of Risk in U.S. Agriculture*. Kluwer Academic Publishers. pp. 289–323. doi:10.1007/978-1-4757-3583-3_14.
- He J, Zheng X, Rejesus RM y Yorobe JM Jr. 2019. Moral hazard and adverse selection effects of cost-of-production crop insurance: evidence from the Philippines. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. 63: 166–197. doi:10.1111/1467-8489.12290.
- Holmström B. 1979. Moral hazard and observability. *The Bell Journal of Economics*. 10(1): 74–91.
- INEGI. 2023a. *Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. 2023b. *Resultados definitivos del Censo Agropecuario 2022 en el Estado de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- Janzen SA y Carter MR. 2019. After the drought: The impact of microinsurance on consumption smoothing and asset protection. *American Journal of Agricultural Economics*. 101(3): 651–671. doi:10.1093/ajae/aay061.
- Jensen ND y Barrett CB. 2017. Agricultural index insurance for development. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 39(2): 199–219. doi:10.1093/aepp/ppw022.
- Jensen ND, Mude AG y Barrett CB. 2018. How basis risk and spatiotemporal adverse selection influence demand for index insurance: Evidence from northern Kenya. *Food Policy*. 74: 172–198. doi:10.1016/j.foodpol.2018.01.002.
- Jourdain D, Do Anh Tai, Dang Dinh Quang y Pandey S. 2009. Payments for environmental services in upper-catchments of Vietnam: Will it help the poorest? *International Journal of the Commons*. 3(1): 64–81. doi:10.18352/ijc.97.
- Just RE y Pope RD. 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. *Journal of Econometrics*. 7(1): 67–86. doi:10.1016/0304-4076(78)90006-4.
- Just RE y Pope RD. 2003. Agricultural risk analysis: adequacy of models, data, and issues. *American Journal of Agricultural Economics*. 85(5): 1249–1256. doi:10.1111/j.0092-5853.2003.00538.x.
- Karlan D, Osei R, Osei-Akoto I y Udry C. 2014. Agricultural decisions after relaxing credit and risk constraints. *The Quarterly Journal of Economics*. 129(2): 597–652. doi:10.1093/qje/qju002.

- Ker AP y Tolhurst TN. 2019. On the treatment of heteroscedasticity in crop yield data. *American Journal of Agricultural Economics*. 101(4): 1247–1261. doi:10.1093/ajae/aaz004.
- Kramer B, Hazell P, Alderman H, Ceballos F, Kumar N y Timu AG. 2022. Is agricultural insurance fulfilling its promise for the developing world? A review of recent evidence. *Annual Review of Resource Economics*. 14: 291–311. doi:10.1146/annurev-resource-111220-014147.
- Lases Zayas RO. 2010. *Fondos de aseguramiento agropecuario y rural: la experiencia mexicana en el mutualismo agropecuario y sus organizaciones superiores*. Cuadernos de la Fundación No. 149. Fundación MAPFRE, Instituto de Ciencias del Seguro, Madrid.
- Liu Y y Ker AP. 2020. When less is more: On the use of historical yield data with application to rating area crop insurance contracts. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 52(2): 194–203.
- Lobell DB, Schlenker W y Costa-Roberts J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333(6042): 616–620. doi:10.1126/science.1204531.
- López-González JL, Salgado-Villavicencio E, Aguirre-Cadena JF y Méndez-Espinosa JA. 2023. Agricultura de temporal y seguridad alimentaria en familias campesinas, un estudio de caso en Puebla-México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 20(1): 109–124. doi:10.22231/asyd.v20i1.1531.
- Madajewicz M, Tsegay AH y Lee R. 2017. *Managing Risks in Smallholder Agriculture: The Impacts of R4 on Livelihoods in Tigray, Ethiopia from 2012 to 2016*. Oxfam / Columbia University.
- Mahul O y Stutley CJ. 2010. *Government Support to Agricultural Insurance: Challenges and Options for Developing Countries*. World Bank, Washington, D.C. doi:10.1596/978-0-8213-8217-2.
- Mastachi-Loza CA, Becerril-Piña R, Gómez-Albores MA, Díaz-Delgado C, Romero-Contreras AT, García-Aragón JA y Vizcarra-Bordi I. 2016. Regional analysis of climate variability at three time scales and its effect on rainfed maize production in the Upper Lerma River Basin, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 225: 1–11. doi:10.1016/j.agee.2016.03.041.
- Mazviona B, Sølvesten S y Palwishah RI. 2025. Intensity of crop and livestock insurance adoption: lessons from Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 30: 72. doi:10.1007/s11027-025-10265-2.
- Miranda MJ. 1991. Area-yield crop insurance reconsidered. *American Journal of Agricultural Economics*. 73(2): 233–242. doi:10.2307/1242708.

- Miranda MJ y Glauber JW. 1997. Systemic risk, reinsurance, and the failure of crop insurance markets. *American Journal of Agricultural Economics*. 79(1): 206–215. doi:10.2307/1243954.
- Murray-Tortarolo GN, Jaramillo VJ y Larsen J. 2018. Food security and climate change: The case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*. 253–254: 124–131. doi:10.1016/j.agrformet.2018.02.011.
- Navrud S y Vondolia GK. 2020. Farmers' preferences for reductions in flood risk under monetary and non-monetary payment modes. *Water Resources and Economics*. 30: 100151. doi:10.1016/j.wre.2019.100151.
- Ocampo-Ledesma JG, Altamirano-Cárdenas JR y Palacios-Rangel MI. 2026. Los seguros agrícolas en México, una historia en perspectiva. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 36(67): e261673. doi:10.24836/esv36i67.1673.
- Pauly MV. 1968. The economics of moral hazard: Comment. *The American Economic Review*. 58(3): 531–537.
- Portillo Vázquez M, Sangerman-Jarquín DM, Ayvar Vargas M del R y Ramírez Jaspeado R. 2020. Modelo de aseguramiento agrícola privado para pequeños productores agrícolas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6): 1389–1402. doi:10.29312/remexca.v11i6.2513.
- Pratt JW. 1964. Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*. 32(1/2): 122–136. doi:10.2307/1913738.
- Rippo R y Cerroni S. 2023. Farmers' participation in the Income Stabilisation Tool: evidence from the apple sector in Italy. *Journal of Agricultural Economics*. 74: 273–294. doi:10.1111/1477-9552.12508.
- Roberts RAJ. 2005. *Insurance of Crops in Developing Countries*. FAO Agricultural Services Bulletin No. 159. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Rothschild M y Stiglitz J. 1976. Equilibrium in competitive insurance markets: An essay on the economics of imperfect information. *The Quarterly Journal of Economics*. 90(4): 629–649. doi:10.2307/1885326.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2025. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola / Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México.
- Shenoy A y Korb M. 2025. The economic potential for area-yield crop insurance: an application to maize in Ghana. *Journal of Agricultural Economics*. 76(1): 230–236. doi:10.1111/1477-9552.12618.

- Skees JR, Black JR y Barnett BJ. 1997. Designing and rating an area yield crop insurance contract. *American Journal of Agricultural Economics*. 79(2): 430–438. doi:10.2307/1244141.
- Smith VH y Goodwin BK. 1996. Crop insurance, moral hazard, and agricultural chemical use. *American Journal of Agricultural Economics*. 78(2): 428–438. doi:10.2307/1243714.
- Solano-Alonso R, Altamirano-Cárdenas JR, Santoyo-Cortés VH 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): e211100. doi:10.24836/es.v31i57.1100.
- Tolhurst TN y Ker AP. 2015. On technological change in crop yields. *American Journal of Agricultural Economics*. 97(1): 137–158. doi:10.1093/ajae/aau082.
- Ureta C, González EJ, Espinosa A, Trueba A, Piñeyro-Nelson A y Álvarez-Buylla ER. 2020. Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*. 177: 102697. doi:10.1016/j.agsy.2019.102697.
- USDA-RMA. 2022. *Trend-Adjusted Actual Production History Standards Handbook*. FCIC-20220. Risk Management Agency, United States Department of Agriculture.
- von Neumann J y Morgenstern O. 1944. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Wang HH y Zhang H. 2003. On the possibility of a private crop insurance market: A spatial statistics approach. *Journal of Risk and Insurance*. 70(1): 111–124. doi:10.1111/1539-6975.00051.
- World Bank. 2013. *Mexico Agriculture Insurance Market Review: Strengthening a Successful Public-Private Partnership*. World Bank, Washington, D.C.