



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

ANÁLISIS DE LOS DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ EN MÉXICO

T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

Presenta:

ANA LIZBETH HERNÁNDEZ GARCÍA

**BAJO LA SUPERVISIÓN DE: IGNACIO CAAMAL CAUICH, DOCTOR EN
CIENCIAS**



Chapingo, Estado de México, 14 de noviembre de 2025

ANÁLISIS DE LOS DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ EN MÉXICO

Tesis realizada por Ana Lizbeth Hernández García bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR:


Dr. Ignacio Caamal Cauch

ASESOR:


Dra. Zulia Helena Caamal Pat

ASESOR:


Dr. José Antonio Ávila Dorantes

ASESOR:


Dra. Verna Gricel Pat Fernández

LECTOR EXTERNO:


Dr. Diego Francisco Cruz López

Contenido

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	15
1.2 Antecedentes	16
1.3 Planteamiento del problema	18
1.4 Justificación	19
1.5 Preguntas de investigación	21
1.6 Objetivo general.....	21
1.7 Objetivos específicos	21
1.8 Hipótesis	22
1.9 Estructura del contenido.....	22
1.10 Esquema del contenido de la investigación	24
2. REVISIÓN DE LITERATURA	25
2.1 Panorama nacional del sector agrícola.....	26
2.2 Panorama internacional del arroz.....	29
2.3 Trascendencia del arroz en México.....	32
2.4 Estimulo a la producción agrícola en México.....	35
2.5 Enfoque para analizar la producción agrícola.....	38
2.6 Métodos utilizados para abordar el análisis de la producción agrícola.....	43
Literatura citada.....	57
3. DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ, CULTIVO CON DEPENDENCIA ALIMENTARIA EN MÉXICO	1
Resumen.....	1
DETERMINANTS OF RICE PRODUCTION, A FOOD DEPENDENCE CROP IN MEXICO	2
Abstract.....	2
Introducción	3
Materiales y métodos	6
Resultados y discusión.....	8
Conclusiones	13
Literatura citada	15
4. DEPENDENCIA COMERCIAL DE ARROZ EN MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA SEGURIDAD ALIMENTARIA	19

Resumen.....	19
TRADE DEPENDENCE OF RICE IN MEXICO AND ITS RELATION TO FOOD SECURITY	20
Abstract.....	20
Introducción	21
Marco teórico	23
Metodología	24
Resultados relevantes.....	26
Conclusiones	31
Literatura citada	33
5. IMPACTO DEL CLIMA EN EL SECTOR AGRÍCOLA MEXICANO, EL CASO DEL RENDIMIENTO DE ARROZ.....	35
Resumen.....	35
IMPACT OF CLIMATE ON THE MEXICAN AGRICULTURAL SECTOR: THE CASE OF RICE YIELDS	36
Abstract.....	36
Introducción	37
Materiales y métodos	43
Resultados y discusión.....	46
Conclusiones	53
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	58
7. LITERATURA CITADA	60

LISTA DE CUADROS

Índice de Cuadros del capítulo 2

Cuadro 1. Factores que afectan la producción agrícola.....	41
Cuadro. 2 Estudios sobre producción agrícola.	48
Cuadro. 3 Análisis de la productividad agrícola.	55

Índice de Cuadros del capítulo 3

Cuadro 1. Tasa de crecimiento del periodo (T _{cp}) y tasa de crecimiento promedio anual (T _{cpa}).	9
Cuadro 2. Parámetros del modelo y significancia.	9
Cuadro 3. Resultados de las pruebas del modelo de producción de arroz..	10

Índice de Cuadros del capítulo 4

Cuadro . 1 Indicadores coyunturales para el año 2022.....	30
---	----

Índice de Cuadros del capítulo 5

Cuadro 1. Sector agrícola en México	39
Cuadro 2. Rendimiento de los cereales en México.	41
Cuadro 3. Cereales en México, volumen de producción respecto al total de cereales.	42
Cuadro 4. Valor de la producción de cereales en México, 2023.	42
Cuadro 5. Modelo de Rendimiento en temporal.....	47
Cuadro 6. Rendimiento en riego	48
Cuadro 7. Rendimiento total	49
Cuadro 8. características generales del modelo de rendimiento en temporal, rendimiento en riego y rendimiento total.	50
Cuadro 9. Pruebas estadísticas	50

LISTA DE FIGURAS

Índice de Figuras del capítulo 4

Figura 1. Importaciones de arroz en México, 2022.	27
Figura 2. Dinámica del mercado nacional e internacional del arroz: producción (Y), importaciones (M) y exportaciones (X) para el periodo 1980 a 2022.	28
Figura 3. Dinámica del consumo nacional aparente.	28
Figura 4. Coeficiente de dependencia comercial de arroz en México e índice de autosuficiencia alimentaria.	29
Figura 5. Dinámica de índices de comercio internacional para el arroz 1980- 2022.	30

Índice de Figuras del capítulo 5

Figura 1. Porcentaje de participación del sector agrícola en el producto interno bruto total, 1990 a 2023.	40
Figura 2. Dinámica de la superficie cosechada en México 1990 a 2023.	40
Figura 3. Superficie de tierras equipada para agricultura de riego 1990 a 2023.	41
Figura 4. Superficie cosechada riego y temporal.	41
Figura 5. Índice de superficie siniestrada de arroz e índice de precipitación media.	46
Figura 6. Producción estatal de arroz en México.	47

ABREVIATURAS

ADM: Archer Daniel Midland

ARIMA: Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil

BCR: Índice de Balanza Comercial Relativa

CE: Comisión de Economía

CNA: Consumo Nacional Aparente

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CONASUPO: Compañía Nacional de Subsistencias Populares S. A.

CONEVAL: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

CNDP: Centro Nacional de Prevención de Desastres

COVID- SARS-CoV-2: Coronavirus

DC: Índice de Dependencia Comercial

Df: Grados de libertad

Dpi: Índice de Sequía desviación de la precipitación

DW: Durbin Watson

EE. UU.: Estados Unidos de América

Et at.: y otros

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FAOSTAT: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Datos estadísticos)

FIRA: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura

FT: Fuerza de trabajo

GCMA: Grupo Consultor de Mercados Agrícolas

GE: Índice de Grado de Apertura Exportadora

Ha: Hectáreas

IAA: Índice de Autosuficiencia Alimentaria

IAC: Índice de Apertura Comercial
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INMO: Logaritmo Natural de Mano de Obra
INNitro: Logaritmo Natural de Nitrógeno
INSSe: Logaritmo Natural de la Superficie Sembrada
ISS: Índice de Superficie Siniestrada
ISSit: Índice de Siniestro Superficie de Arroz
K: Capital
L: Trabajo
LDRS: Ley de Desarrollo Rural Sustentable
Mij: Importaciones
MS: Cuadrado Medio
MSI: Índice de estrés de humedad
N: Nitrógeno uso de fertilizantes por nutriente
NDVI: Índice vegetación de diferencias normalizadas
OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU: Organización de Naciones Unidas
PEAa: Población Económicamente Activa del Sector Agrícola
PESA: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria
Pi: Precipitación Observada Anual
PIB: Producto Interno Bruto
Pm: Promedio de Precipitaciones Observadas
PRECI: Precipitación
Qij: Producción
R: Rendimiento
RA: Rendimiento de arroz

R²: Bondad de Ajuste

RR: Rendimiento en Riego

RT: Rendimiento en Temporal

SADER: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SEGALMEX: Seguridad Alimentaria Mexicana

SIACON: Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta

SIAP: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera

SMN: Servicio Meteorológico Nacional

SS: Suma de Cuadrados

Sse: Superficie Sembrada de Arroz

Ssi: Superficie Siniestrada

Ssm: Superficie Sembrada Promedio

T: Tierra

Tr: Índice de Transabilidad

TCp: Tasa de Crecimiento del Periodo

TCpa: Tasa de Crecimiento Promedio Anual

TEM: Temperatura Media

Tec: Tecnología

TLCAN: Tratado de Libre Comercio de América del Norte

TMAC: Tasa Media Anual de Crecimiento

Ton: Toneladas

URP: Unidades Rurales de Producción

Xij: Exportaciones

Y: Producción de arroz

DEDICATORIAS

A mi esposo Rafael y mi hija Luciana

Parte de este camino es recorrido a su lado, por el apoyo a mi carrera profesional, por su comprensión y paciencia, ambas me permiten tener la serenidad para responder a las obligaciones académicas.

A mis padres Inocencia e Ignacio

Por su apoyo incondicional durante este largo proceso formativo, sus consejos, sus valores, su ejemplo de trabajo constante son un estímulo invaluable. A mi madre por impulsarme, por generarme confianza y valor suficiente para abrir camino en la vida. A mi padre por permanecer en todo momento a mi lado, por ser ejemplo de congruencia, cada una de tus palabras me guían.

A mi hermano Miguel Ángel

El camino de la vida siempre es mejor con cómplices, por la capacidad de apoyarnos y reconocernos mutuamente, gracias por confiar en mí, cuentas con mi apoyo cuando lo necesites, me siento orgullosa de tenerte.

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)

Por el apoyo económico otorgado, permitió la realización y culminación de los estudios de posgrado. Por la continuidad de los apoyos, se refuerzan y crezcan los posgrados de calidad.

Universidad Autónoma Chapingo

Por permitir desarrollar habilidades académicas en sus bellas instalaciones, por expandir su cobijo, nos cultiva, abona y permite cosecharnos como profesionistas.

A mi director y asesores: Dr. Ignacio Caamal Cauich, Dra. Zulia Helena Caamal Pat, Dr. José Antonio Ávila Dorantes y Dra. Verna Grisel Pat Fernández

Por los comentarios, las sugerencias al trabajo, por compartir su conocimiento, su contribución enriquece la investigación de una manera invaluable.

Dr. Juan Hernández Ortiz, Coordinador del posgrado

Por el seguimiento, asesoría y motivación. Por la confianza y apoyo depositada. Su labor académica refuerza nuestra disciplina.

Dr. Vidal Issac Ibarra Puig y Dr. Driss Guerraoui

Universidad Autónoma Metropolitana y Universidad Abierta de Dakhla

Por la invitación a formar parte de la Red “International Youth Network for the Universal Declaration of Human Rights” y “La juventud y los retos del cambio climático: ¿Qué roles y qué contribuciones?” De la Asociación de Estudios e Investigación para el Desarrollo, ONG con estatus consultivo ante el Consejo Económico y Social (ECOSOC) de la ONU.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Ana Lizbeth Hernández García

Fecha de nacimiento: 23 de febrero de 1992

Lugar de nacimiento: Ecatepec de Morelos,

Estado de México, México.

CURP: HEGA920223MMCRRN06

Profesión: Economista

Cédula profesional de licenciatura: 9762837

Cédula profesional de maestría: 12233978



Desarrollo académico y profesional

Bachillerato: Escuela Preparatoria Oficial N. 100 “Luz Sánchez”, Texcoco de Mora, Estado de México (2007-2010).

Licenciatura: Licenciatura en Economía, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Ciudad de México (2010-2014).

Ayudante de investigación del Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Área de Sociedad y Acumulación Capitalista (ASAC), Ciudad de México (2014-2016).

Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco de Mora, Estado de México (2016-2018).

Jefe de Departamento de Recursos Humano, Plásticos Rebyplan S.A. de C.V., Chiautla, Estado de México (2018-2021).

Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco de Mora, Estado de México (2021-2025).

RESUMEN GENERAL

¹ ANÁLISIS DE LOS DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ EN MÉXICO

La producción de arroz depende de factores económicos, políticos, sociales y climáticos. El nivel de importaciones de arroz en México supera el 70% del consumo. El objetivo es analizar los determinantes de la producción de arroz, identificar la viabilidad productiva y pertinencia de estímulos institucionales. La metodología comprende una función de producción Cobb-Douglas, el cálculo de índices de dependencia comercial y seguridad alimentaria y modelos de regresión lineal múltiple del rendimiento de arroz con variables climáticas. Las elasticidades de la función de producción son en mano de obra agrícola 1.276, superficie sembrada 0.825 y nitrógeno 0.458. Los índices muestran valores de DC=0.713, BCR=-0.987, T=-0.708, GE=0.004 y IAA=0.29. En rendimiento de temporal la temperatura tiene un coeficiente de 4.52, el índice de desviación de la precipitación -0.03, indica sequía, e índice de siniestro tiene -0.153. En rendimiento de riego la temperatura tiene un coeficiente de 0.93, la precipitación -0.175 y mano de obra agrícola 0.65. En rendimiento total la temperatura un coeficiente de 5.31, el índice de siniestro -0.119 y mano de obra 1.31. La producción de arroz responde positivamente a los factores de producción. Se confirma la dependencia económica e influencia del clima. Los hallazgos ayudan a diseñar estrategias productivas para rescatar la producción nacional de arroz y mitigar el grado de dependencia.

Palabras clave: *Oriza sativa*, función de producción, seguridad alimentaria, dependencia comercial, rendimiento agrícola.

¹ Tesis de Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Ana Lizbeth Hernández García
Director de Tesis: Ignacio Caamal Cauch

ABSTRACT

² AN ANALYSIS OF THE DETERMINANTS OF RICE PRODUCTION IN MEXICO

Rice production depends on economic, political, social, and climatic factors. In Mexico, rice imports account for more than 70% of total consumption. The objective of this study is to identify the determinants of rice production, analyze its viability, and assess the relevance of institutional incentives. The methodology includes the use of a Cobb-Douglas production function, the calculation of trade dependence and food security indices, and multiple linear regression models of rice yield based on climate variables. The estimated production elasticities are 1.276 for agricultural labor, 0.825 for planted area, and 0.458 for nitrogen. The index values were DC = 0.713, BCR = -0.987, T = -0.708, GE = 0.004, and IAA = 0.29. In the rainfed model, temperature has a coefficient of 4.52, while the precipitation deviation index has a coefficient of -0.03, indicating drought conditions, and the crop failure index has a coefficient of -0.153. In the irrigation model, temperature has a coefficient of 0.93, precipitation has a coefficient of -0.175, and agricultural labor has a coefficient of 0.65. In the total yield model, the estimated coefficients are 5.31, for temperature, -0.119 for the crop failure index, and 1.31 for labor. The results indicate that rice production is positively influenced by the main production factors. Economic dependence and influence of climate are evident. The findings help design productive strategies to revive national rice production and mitigate the degree of dependence.

Key words: *Oriza sativa*, production function, food security, trade dependence, agricultural yield.

²Thesis: Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Ana Lizbeth Hernández García
Advisor: Ignacio Caamal Cauich

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento de la población mundial se acompaña de un incremento en la demanda de alimentos. Durante el siglo XX la llamada Revolución Verde permitió impulsar la producción de cereales a nivel mundial principalmente en granos como trigo, arroz y maíz. Sin embargo, el impacto a gran escala ha sido discutido (Chávez et al., 2020, p.1424).

En México, múltiples factores, se posibilitó la introducción de semillas de alta productividad, insumos agrícolas, fertilizantes y plaguicidas, así como la modernización de técnicas agrícolas y obras hidráulicas (Pureco & García, 2017, p. 164). El Milagro Mexicano, la creación de ejidos y la nacionalización de la hacienda impulsaron la producción agrícola.

Durante la segunda mitad del siglo XX el crecimiento de la población requirió estrategias de política agrícola con la capacidad de incrementar la producción, la oferta y abastecer la demanda de alimentos. El sector agrícola enfrentó retos para expandir la producción y distribución de granos, hortalizas, frutas, verduras, leguminosas, forrajes y productos agroindustriales. Durante la década de 1990, con un escenario de una economía abierta y con la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) el sector agrícola mexicano pudo expandir el abastecimiento de la demanda nacional mediante intercambios con el mercado exterior.

La expansión del sector agrícola ofreció beneficios para la especialización en cultivos como aguacate, jitomate y pimientos. Además, el sector logró especializarse en la producción de frutas y hortalizas. Sin embargo, incrementó la importación de cereales principalmente de maíz, trigo, frijol y arroz (Rosenzweig, 2005, p.26; Hernández Pérez, 2021, p.1135).

Consecuente a la integración de los mercados surge una convergencia entre el nivel de precios de productos agrícolas nacional e internacional, por esta vía, la toma de decisión productiva se rige por la competencia. Para el arroz el precio disminuyó en 37% (Sánchez, 2014, p.948). No obstante, el sector agrícola nacional difiere de otros sectores donde la competencia y la

rentabilidad rigen la política agrícola, el objetivo del sector es garantizar el abasto de productos estratégicos que coadyuven a la nutrición de la población mexicana.

En un inicio el sector agrícola es la base de la producción de alimentos, obedece a necesidades particulares, locales o tradicionales. Sin embargo, con la integración económica de los mercados agrícolas, la especialización productiva se orienta en cultivos de exportación. En México, el contexto económico desfavoreció la producción de arroz y comenzó una tendencia negativa que se subsana mediante un alarmante nivel de importaciones.

1.2 Antecedentes

La transformación de la agricultura tradicional hacia una agricultura intensiva y dedicada a la exportación fue posible gracias a la liberalización comercial y financiera. Además, el cambio en el patrón de cultivos, resultado de la ausencia de políticas proteccionistas, a la minimización del papel del Estado dejó de garantizar la producción de alimentos estratégicos como los cereales (Pureco & García, 2017, p.160).

Una primera medida de reforma en el sector agrícola luego de la crisis económica del decenio de 1980 fue la modificación del artículo 27 Constitucional. En enero de 1992 se autoriza la venta y el arrendamiento de los ejidos, condición inamovible desde la promulgación de la Constitución Mexicana de 1917, argumentando la poca capacidad cultivable de las tierras asignadas en el reparto agrario (Mackinlay, 2016, p. 99-100). Comenzó el probable proceso de privatización, una adjudicación individual, la búsqueda de la maximización de la utilidad, la vía para el fortalecimiento de los mercados competitivos. El intento de “privatización” responde a la evolución internacional del sector agrícola, donde los productos agrícolas se encuentran inmersos en esquemas de competencia y rentabilidad.

El énfasis privado empresarial en la agricultura y la ganadería intensiva contrasta con el patrón extensivo de la agricultura de temporal, el cual se fortaleció en la mayor parte del país a través del incremento que experimentó la superficie de labor en el periodo 1970 a 1991 (Orozco, et al., 2018, p.98). Para el cultivo de arroz la producción se trasladó del trópico seco en estados del Pacífico hacia el trópico húmedo estados costeros con el Golfo de México (Rodríguez, 2003, p.3-5, como se citó en Pureco & García, 2017, p.173). La producción se concentró en Veracruz, Campeche, Morelos, Michoacán, Tamaulipas, Tabasco, Colima, Jalisco y Estado de México. En Sinaloa descendió la producción de arroz para concentrarse en maíz.

En 1990 inició una modernización forzada que buscó inducir el cambio tecnológico en la producción empresarial, propició un conflicto entre empresarios agrícolas y gobierno con énfasis al sector ganadero, a la privatización del campo para ampliar el área de influencia del capital agropecuario (González, 2001).

Dos factores técnico-económicos permitieron el desarrollo del mercado agrícola. El primero, la productividad y el segundo la especialización local en cultivos para exportación. En México, cultivos como el arroz, el maíz amarillo y el frijol se vieron desplazados ante la falta de competitividad internacional, se inició una especialización en la siembra de cultivo como forrajes, legumbres y frutas (Martínez, 2013, p. 62; Favilla & Herrera, 2023, p. 20).

En cuanto al tamaño de superficie agrícola, predomina el pequeño productor. En México, el norte del país se caracteriza por una mayor concentración de tierras, el centro y sur tienen una menor escala de producción por posesión de tierra (FUNDAR, 2014).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2025) datos del Censo Agropecuario (2022) reporta que se cuenta con 5 millones 977 mil 824 unidades de producción, 4 millones 629 mil 134 productores dedicados a la agricultura a cielo abierto (94.3%) y 30 mil 319 con agricultura protegida (0.65%). La superficie nacional relacionada con actividades agrícolas y

forestales de 52.78 %, la superficie agrícola de 21 millones 635 mil 875 hectáreas 11.02 % (tierras sembradas u ocupadas con cultivos).

Con la superficie agrícola segmentada, es difícil la asignación de programas de desarrollo para encaminar una estrategia organizada y productiva para el sector agrícola.

1.3 Planteamiento del problema

Los cambios experimentados en el sector agrícola a partir de la entrada en vigor del TLCAN se caracterizan por orientar la producción de cultivos estratégicos hacia la producción de cultivos rentables y con capacidad de exportación. El cultivo del arroz experimentó una transformación derivada de los acuerdos internacionales en la última década del siglo XX. La zona de libre comercio de productos estratégicos incremento los beneficios económicos, se puede observar en el decremento de la producción en cultivos como arroz y el aumento de las importaciones (Reyes, et al., 2024, p. 3).

En los últimos cuarenta años se observa un cambio en el patrón de cultivos. A partir del año 2000 los cultivos que más crecieron en términos de superficie cosechada: zarzamora, fresa, hortalizas, aguacate y agaves; y los cultivos asociados a la ganadería (pastos y avena). Por el contrario, cultivos industriales de importancia como el café, tabaco, ajonjolí, cártamo, algodón y el arroz mostraron caídas (FAO, 2019, p.18).

La liberalización comercial migró la superficie de humedad dedicada a la producción de arroz en superficie disponible para cultivos de mayor rentabilidad, la caída de la producción de arroz y el incremento de las importaciones refleja la incapacidad de abastecimiento de la demanda de arroz en México.

De acuerdo con la definición de seguridad alimentaria en Salazar y Muñoz (2019) mencionan que “La seguridad alimentaria es la situación en la que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a

suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias para desarrollar una vida saludable” p.4. Junto con los compromisos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2016), en el cultivo del arroz México enfrenta un riesgo de acceso porque a nivel de individuo, hogar, nación y global, no todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a suficiente alimento. En México el acceso queda condicionado al comportamiento del sector externo.

El incremento en la demanda y el insatisfactorio crecimiento de la producción requiere atención, esta situación debe de ser corregida pues dan continuidad a la dependencia alimentaria de arroz. Identificar qué elementos determinan la producción de arroz, cuáles pueden ser los incentivos o desincentivos económicos, sociales y culturales difícilmente puede postergarse.

1.4 Justificación

La inserción de la economía mexicana en el TLCAN en un escenario de ventajas comparativas, con aspiración a la modernización del campo mexicano se tradujo en la especialización en productos de exportación, eliminando la rigidez de los esquemas de producción nacionales y así poder reformar la estructura vigente, para permitir la asociación entre productores e incentivar la inversión (Martínez, p.449). Sin embargo, la minimización de la participación del Estado expuso al sector agrícola a la competencia internacional, con escasa capacidad de organización y desprotegida.

La participación del Estado en la planificación del sector agrícola, en la formulación de políticas estratégicas de abasto de cultivos como el arroz, es fundamental para fortalecer, abastecer la demanda interna, minimizar la dependencia y acercarse a la autosuficiencia alimentaria mexicana, esto permitirá fortalecer el mercado interno nacional. Atender esta cuestión para la política agrícola mexicana es una primera aproximación para solucionar problemas como la dependencia y la soberanía alimentaria, con el fin de

garantizar el abasto y el acceso de factores que pueden ser apoyados mediante el análisis de la producción y sus determinantes estructurales.

Respecto a la diversificación de la propiedad de la tierra, en México la región centro sur, suroeste y sureste de la república mexicana dificulta las medidas de política agrícola. La búsqueda de una estrategia para rescatar la producción de cultivos básicos tiene como base apoyos o transferencias para incentivar la producción, la cual está limitado en gran medida por el tamaño de la superficie cultivable, entre ellos rescatar el cultivo del arroz (Guerrero, 2023, p.1). Uno de los programas son los precios de garantía, entre los cultivos beneficiados se encuentra el arroz.

De acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el arroz es un cultivo de importancia nacional. Sin embargo, el arroz es el cereal de consumo humano con mayor desabasto, de acuerdo con Saldaña (2025) las compras se incrementaron 25.8% en volumen en 2024. El arroz toma importancia porque forma parte de la cadena de valor agroalimentaria a nivel nacional y de acuerdo con Favilla & Herrera (2023) el consumo humano per cápita en 2017 fue de 9 a 11 kilos (p.19).

Suministrar la demanda interna es fundamental para mitigar la dependencia, continuar con insuficiencia en la producción pone en riesgo de enfrentar obstáculos en el sector externo, por recurrentes crisis financieras, energéticas o crisis sanitaria como el caso del coronavirus (Ortiz et al., p.347; Rubio, 2011, p. 67).

La diversidad territorial del sector agrícola mexicano, la incertidumbre del comportamiento del mercado nacional e internacional dificulta la tarea de proponer una estrategia agrícola general y sólida que garantice los objetivos institucionales de seguridad alimentaria y desarrollo social en cultivos estratégicos como el arroz.

1.5 Preguntas de investigación

- ¿Cómo responde la producción nacional de arroz ante la dinámica de los factores productivos del sector agrícola en el siglo XXI?
- ¿Por qué se abandonó la producción nacional de arroz y se recurre al mercado externo?
- ¿Es viable aumentar el rendimiento de arroz para evitar depender de las importaciones? ¿El arroz posee un rendimiento significativo?

1.6 Objetivo general

El objetivo general de la investigación es analizar la producción de arroz, para medir el impacto de los factores que determinan la producción e identificar si merman o incentivan su continuidad, valorar el comportamiento de su productividad y su relación con factores ambientales.

1.7 Objetivos específicos

- Identificar los determinantes de la producción de arroz a partir de la teoría de la función de producción neoclásica, para estimar la magnitud del impacto de los parámetros (elasticidades) y la etapa de la producción en la que se encuentran.
- Realizar un diagnóstico, de la dependencia comercial de arroz en México y su relación con la seguridad alimentaria, a partir de índices de comercio internacional.
- Realizar una vinculación entre variables económicas y de impacto ambiental: temperatura, precipitación, índice de sequía, índice de desviación de la precipitación y tecnología, para la estimación del rendimiento de arroz.

1.8 Hipótesis

- La producción nacional de arroz enfrenta menos incentivos porque se prefiere abastecer la demanda mediante importaciones relativamente baratas del mercado internacional, dificultando la aplicación de los factores de producción.
- La escasa producción de arroz manifiesta pérdida de soberanía alimentaria, estamos en un entorno de una agricultura desfasada con prioridad a las exportaciones de cultivos rentables, exponiendo al país al desabastecimiento de un cultivo estratégico.
- En el cultivo del arroz estamos en un entorno de obsolescencia agrícola “desuso agrícola” se renuncia a la siembra del cultivo en beneficio del medio ambiente o del entorno de producción, el caso del arroz.
- En la actualidad la obsolescencia ecológica manifiesta el abandono de un cultivo en perfecto estado por otro, por su condición amable con el medio ambiente, el arroz se limita por el incremento de las sequías y escases de agua.

1.9 Estructura del contenido

En el primer capítulo se presenta una breve introducción, la importancia de analizar la producción agrícola de arroz, se presentan los antecedentes relevantes, se contextualiza sobre la insuficiencia del abastecimiento del mercado nacional, el planteamiento del problema y la dependencia comercial que enfrenta. Se describe el objetivo general, objetivos específicos, las inquietudes que alientan la investigación y la hipótesis inicial de la investigación.

En el capítulo dos, se realiza un análisis del estado del arte entorno a la producción agrícola de arroz, a nivel nacional e internacional. Se realiza una descripción de la dinámica de los mercados, principales productores e importadores, se describe la trascendencia del cultivo del arroz en términos

políticos y económicos, la legislación y las instituciones que guían la política agrícola. Además, se describe el enfoque metodológico utilizado para analizar la producción agrícola, así como las teorías que respaldan la investigación.

En el capítulo tres, se presenta el primer artículo de investigación, un análisis de los determinantes de la producción nacional de arroz, mediante la modelación econométrica de una función de producción Cobb Douglas, se propone un modelo de regresión lineal múltiple de la producción nacional de arroz, los determinantes son la población económicamente activa del sector agrícola, la superficie sembrada, y el uso de nitrógeno. Se concluye que los factores incentivan la producción de arroz, pero en menor proporción a lo esperado.

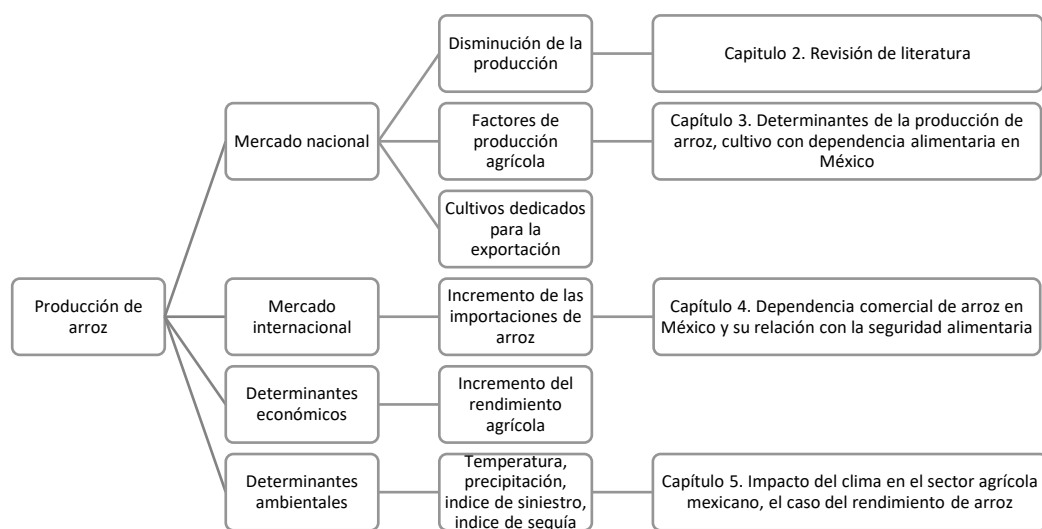
En el cuarto capítulo se realiza un diagnóstico de la dependencia comercial de arroz en México y su relación con la seguridad alimentaria. Se identifican los principales países exportadores de arroz a México y mediante la construcción de índices de dependencia comercial, índice de balanza comercial relativa, índice de transabilidad, consumo nacional aparente, índice de grado de apertura exportadora e índice de autosuficiencia alimentaria. Se realiza el diagnóstico de dependencia, vulnerabilidad y posible riesgo de acceso físico y oportuno en el cultivo del arroz, en un contexto internacional de crisis y fluctuaciones de mercado.

En el quinto capítulo, el impacto del cambio climático en el sector agrícola mexicano el caso del rendimiento de arroz en México, se realiza una vinculación entre variables climáticas, índice de sequía, índice de precipitación y tecnología. Mediante modelos de regresión lineal múltiple se realiza la estimación del rendimiento total de arroz, rendimiento en modalidad de riego y rendimiento en temporal.

Finalmente, una serie de conclusiones generales del contenido de la investigación en la que resalta la importancia de los factores de producción como determinantes con posibilidad de impactar positivamente la producción de arroz. En el contexto internacional destaca la presencia de vulnerabilidad e incapacidad de respuesta nacional entorno a las labores institucionales para

lograr el abastecimiento del mercado. En el plano ambiental resaltan repercusiones en el rendimiento derivadas de escasa precipitación e índice de siniestro, así como la dinámica de la temperatura media.

1.10 Esquema del contenido de la investigación



2. REVISIÓN DE LITERATURA

El presente capítulo aborda una revisión de literatura entorno a la producción de arroz en México. En una primera sección se realiza una caracterización del sector agrícola. Se realiza una descripción de los principales cambios en el subsector cereales y las implicaciones entorno a la liberación del sector para granos básicos, la especialización, el esquema de subsidios a la producción respecto a la tecnología, el aumento de importaciones y los estados productores.

En la segunda sección se describe el contexto internacional, los principales productores, importadores y exportadores. Las implicaciones de la dependencia de arroz en el contexto internacional caracterizado por escenarios de incertidumbre y crisis alimentaria, financiera y sanitaria. La exposición a la variabilidad en los precios de los alimentos, la concentración de las importaciones, la repercusión en cadenas de valor y un marco conceptual que permita diferenciar la situación coyuntural respetando los objetivos de desarrollo sostenible y la garantía de seguridad alimentaria.

En la tercera sección se realiza un esbozo sobre la trascendencia del arroz en México, se aborda las implicaciones del TLCAN, el cambio en el patrón de cultivos y el fortalecimiento de granos estratégicos. Se resalta el papel demandante de insumos agrícolas, la escasez de agua para la producción de arroz y costos de insumos, elementos atenuantes para la competitividad. Por último, el comportamiento del precio internacional de arroz, el cual guarda una relación antagónica con el comportamiento de las importaciones.

En la cuarta sección se aborda el contexto de liberalización, el papel de la tecnología en un esquema de producción agrícola intensiva orientada a la industrialización, la concentración de la estructura productiva y la minimización de la participación del Estado. Finalmente, se describe el papel de los apoyos a pequeños productores vía precios de garantía, su reincorporación y la estrategia institucional del gobierno actual para incrementar la soberanía alimentaria.

En la quinta sección se realiza una descripción del papel de la función de producción en la teoría económica, enfocándonos en la Cobb Douglas, las características y propiedades, una abstracción general y la relación con la productividad de los factores. Además, se incorpora un enfoque amplio de los elementos de análisis de la producción agrícola en el ámbito social, económico, político, cultural, ambiental, institucional, material y tecnológico, así como su desagregación y efecto en la producción.

En la sexta sección se realiza un esbozo de los principales métodos para analizar la producción en el sector agrícola, se asocian variables reales, nominales y de gestión, las principales técnicas de modelación, los análisis de rentabilidad como una aproximación a la productividad del cultivo en las decisiones de producción dentro del sector agrícola. Se describe de manera cronológica los principales estudios relacionados con la producción de arroz el cual incluye la modelación econométrica, series de tiempo, red de valor, análisis de costos, entre otros.

En la séptima sección se realiza una revisión de literatura relacionando el sector agrícola y el clima. La revisión contempla una secuencia cronológica de la manera en que diversos autores incorporan la temperatura y la precipitación para determinar el valor de la tierra, el valor de la producción y el rendimiento agrícola. Destaca el uso de la modelación econométrica a través del uso de datos panel, series de tiempo y datos de sección cruzada.

2.1 Panorama nacional del sector agrícola

En México durante la década de 1980 trascendió la producción de arroz, se alcanzó la autosuficiencia, pero en años finales disminuyó la superficie cosechada y la producción del cultivo. Una diversificación y migración hacia cultivos de mayor rentabilidad atrajo una dependencia del exterior en cultivos estratégicos. Según Flores y Schwentesius (2001) “los cambios experimentados pueden ser atribuidos a la pérdida de competitividad del

grupo de granos básicos, producto de la desigual condición de los productores nacionales con sus congéneres internacionales” (p.94).

La desigualdad de condiciones de competencia puede ser resultado de lo mencionado por González et al. (2006) quien asevera que “En México las transferencias agrícolas mantienen un monto similar al de sus principales socios comerciales, empero la distribución de las transferencias se concentra en subsidios agrícolas mientras que sus competidores destinan a los servicios de apoyo en investigación” (p.327). Esta situación de orientación de recursos repercute en el rezago competitivo del sector agrícola mexicano respecto a los socios comerciales internacionales, EE. UU. principalmente.

En México existe una discrepancia entre producción. De acuerdo con los niveles de importación, México es el segundo importador de maíz amarillo, el segundo importador de soja, el séptimo importador de frijol, el noveno importador de trigo, el decimotercero importador de arroz (FAO, 2025).

Uno de los granos básicos de especial interés es el arroz, el consumo de arroz tiene una fuerte dependencia con el sector externo. Se estima que el 78 % de la demanda interna se suministra mediante importación, 870 mil toneladas, el equivalente al 4 % de las importaciones mundiales de arroz (GCMA, 2022, p. 13).

Estados como Campeche, Michoacán y Morelos buscan una forma de reactivación de la producción arrocería, el factor asociado al aumento de la producción es la superficie (Irita et al., 2016). Aunque también aparecen estados productores con especialización en tecnificación o riego junto a Nayarit y Veracruz. En el Estado de Sinaloa los agricultores dejaron de sembrar arroz y muchos empresarios industriales optaron por rentar sus instalaciones a las bodegas rurales CONASUPO, para recibir, secar, conservar y embarcar maíz (Calderón & Farias, 2020. p.726).

En cuanto a la superficie cosechada tiene escaso incremento sustancial. En 1994 la superficie agrícola cosechada fue de 18.9 millones de hectáreas, con una tasa de crecimiento promedio anual de 0.4 por ciento, en 2010 la superficie

cultivada fue de casi 20.2 millones de hectáreas (Lechuga et al., 2010, p.16). Por tanto, la producción agrícola de alimentos responde a otra estrategia:

Se puede suponer que el sector industrial asociado a la agricultura en el país carece de una expansión, se abastece del mercado externo, es difícil para el sector lograr instituirse como motor de desarrollo en su papel de demandante de insumos (Lechuga et al., 2010, p.17).

La superficie sembrada fue de 20.3 millones de hectáreas en 2021 principalmente en la producción de granos básicos. Por superficie cosechada predominan granos y oleaginosas con 56 %, seguido de forrajes con el 21 % de la superficie (GCMA, 2022, p. 13). Por su aporte nutricional los granos básicos en México son: maíz, frijol, trigo y arroz, son parte de la dieta diaria de los mexicanos.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021) dentro del subsector agrícola la superficie sembrada se concentra en granos con 40.7 % y un valor agregado, que aporta el 23.2 % del PIB agrícola. En el periodo 1980 a 2016 la superficie cosechada creció en pasto (más de 1,500 %), maíz forrajero (480 %), aguacate (231 %) agave (184 %); disminuyó en trigo, sorgo, arroz, tabaco y cártamo y se mantuvo la superficie para el frijol y la cebada (FAO, 2019, p.19).

La actividad primaria es la clave para cumplir con la meta de seguridad alimentaria en México. El crecimiento del sector agropecuario, forestal y pesquero mantiene un ritmo menor a la economía general. Durante el periodo 1993 a 2017 el producto interno bruto (PIB) del sector primario creció de 312 mil 605 millones a 454 mil 074 millones de pesos constantes, un incremento del 45.2 % y una tasa media anual de crecimiento (TMAC) de 1.6 %, en comparación con el crecimiento de la economía nacional que creció en el mismo periodo a una TMAC de 2.5 % (FAO, 2019. p. 17).

El incremento de la producción puede fortalecerse principalmente por dos vías: las políticas agrícolas orientadas y el resultado de paquetes tecnológicos y de investigación. La producción de granos, oleaginosas y forrajes funge como insumo básico para la producción de proteína animal, el mayor

generador de valor dentro del sector agropecuario (GCMA, 2022, p. 13). La cadena de valor agrícola suministra alimentos para consumo humano y animal, da continuidad a una cadena de valor para el sector pecuario.

2.2 Panorama internacional del arroz

Los principales productores mundiales de arroz son China, India, Bangladesh, Indonesia, Vietnam y Tailandia. En América son Brasil, Estados Unidos, Perú, Colombia, Uruguay, Ecuador y Argentina. México se ubica en el sexagésimo lugar como productor mundial (FAOSTAT, 2025).

La dependencia de alimentos tomó relevancia durante la primera década del siglo, a partir de la crisis financiera, energética y alimentaria de 2008. La inestabilidad internacional y el impacto de la volatilidad de precios generó inquietudes económicas entre las naciones para garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial (Urquía, 2014). Los precios de alimentos, principalmente en cereales, se incrementaron gradualmente desde principios de la década debido a la conjunción de cuatro factores: 1) un aumento de los costos de los insumos productivos; 2) una caída de la producción; 3) el impulso de los agrocombustibles; y 4) la financiarización de la agricultura (Rubio, 2011, p. 68).

Como respuesta frente a la incertidumbre y la crisis del mercado agrícola internacional se planearon las metas de desarrollo. En los Objetivos de Desarrollo Sostenible, dos puntos de relevancia del sector agrícola son: 1) el combate a la pobreza; y 2) el hambre. En el Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional 2019, se reportó un total de 9.7 millones de personas en hambre durante el contexto de la COVID-19 en México (FAO, 2020). México enfrenta una situación de carencia de alimentos en maíz amarillo, trigo, frijol y arroz, lo que compromete la política de abastecimiento y acceso.

El crecimiento de la producción nacional de alimentos es fundamental para garantizar el abasto de la demanda dado el elevado nivel de concentración:

Cuatro comercializadoras de granos controlan más del 75 % de la comercialización y distribución a nivel mundial: Archer Daniel Midland (ADM), Bunge, Cargill y Luis Dreyfus llamadas las (ABCD), controlan la mayor parte del comercio internacional de cereales y granos, influyen sobre la determinación del precio internacional (Gómez & Granados, 2016, p. 26).

Las importaciones arroceras proceden de Estados Unidos de América, Uruguay, Italia y Colombia (Irita et al., 2016). México se convirtió en el principal importador de arroz de EE. UU. En la década de 1980. México importaba 17 % de arroz para abastecer la demanda interna, en la actualidad importa el 80 % (Reyes et al., 2024). De acuerdo con Sánchez (2014) una característica del mercado externo es que abunda arroz a precio bajo, esto favorece la importación de arroz procedente de EE. UU., favorecido por precios dumping (p.949).

Un ejemplo del incremento de precio en productos agrícolas es el aumento promedio de un 23 % en 2021.

Algunos precios incrementaron debido al nivel récord de importaciones en cereales y aceites vegetales de China, mientras las interrupciones del suministro inducidas por el clima incrementaron los precios del trigo. Aunado al precio agrícola el precio de insumos, en particular energía y fertilizante, plantea un riesgo crítico de alza de precios de los alimentos (GCMA, 2022, p. 12).

La crisis alimentaria se agudiza con otros factores económicos. La crisis alimentaria coincidió con la crisis energética y la crisis financiera, creando dificultades para los países importadores, Gómez y Granados (2016) mencionan:

El incremento de la producción de biocombustibles en Estados Unidos y Europa redujo la oferta de los países exportadores, ambos países dieron prioridad al abasto interno y redujo el impacto en los precios internos. Para el arroz las compras de pánico en Asia elevaron el precio del arroz (p. 30).

De acuerdo con Favila y Herrera (2023) el arroz forma parte importante de la dieta de la población mexicana, entre el año 2010 y el año 2017, el consumo per cápita aumentó de 9.4 a 11 kilos (p.19).

En México mantener el nivel de importación de arroz para suministrar la demanda interna expone al país a una crisis de abastecimiento, es de preocupación económica porque dificulta el consumo humano y la cadena de valor ante el posible encarecimiento que enfrentaría. Existe una importante diferencia en la conceptualización para analizar las implicaciones de importar arroz en gran medida, conceptos como autosuficiencia, seguridad, soberanía, dependencia alimentaria y dependencia comercial toman especial interés.

La autosuficiencia hace referencia a condiciones de producción que permitan abastecer la demanda interna mediante producción nacional mitigando el nivel de importaciones (FAO, 2020, p.87). La seguridad alimentaria al acceso físico y económico, a suficiente alimento, seguro y nutritivo para satisfacer la necesidad alimenticia para adquirir alimentos incluso del mercado externo (PESA, 2011, p.2; FAO, 2017). La soberanía se refiere al derecho nacional a organizar la producción, proteger de dumping y excedente agrícola a bajo precio de otros países (PESA, 2011, p.3).

Un concepto relevante es la dependencia alimentaria, situación donde una nación es vulnerable a la importación de alimentos para satisfacer una parte considerable del abasto de la demanda interna, se caracteriza porque compromete recursos financieros y expone al país a la volatilidad de precios del mercado internacional. Para Martínez y Vallejo (2011):

La seguridad y la dependencia alimentaria tiene una estrecha relación, la importación que un país realiza de granos básicos genera incremento de desempleo, disminución de empleos formales, precariedad, migración, y desnutrición, llevando a los pobladores rurales al abandono del sector para diversificar y complementar con el sector secundario y terciario (p.35).

El coeficiente de dependencia comercial manifiesta la importancia de las importaciones para satisfacer la demanda interna de arroz (Caamal et al., 2017, p.88).

La dependencia de alimentos se convirtió en un tema de interés a partir de la crisis financiera, energética y alimentaria de 2008. De acuerdo con Rubio (2011) la evolución del mercado agrícola apoyada en la productividad y la especialización de cultivos estratégicos para la exportación enfrentan una volatilidad elevada en el mercado internacional.

La clave para la conjunción de los conceptos de seguridad alimentaria considera el acceso y riesgo, este último dividido en vulnerabilidad y amenaza. El acceso se refiere a la entrada de alimentos, puede ser físico o económico. La falta de acceso físico se da cuando hay ausencia de alimento disponible en cantidad suficiente donde se necesita consumir. En términos de acceso físico México enfrenta un problema de abastecimiento nacional de arroz, pues el nivel de importaciones de arroz supera el 70% de la demanda interna.

2.3 Trascendencia del arroz en México

El sector agrícola sufrió modificaciones con el TLCAN, los primeros cambios se observaron en la superficie cosechada, se sustituyeron cultivos, y otros, por su importancia nacional, se fortalecieron, de acuerdo con Hernández (2004):

La sustitución de cultivos y el cambio en la superficie se observa en frijol, cártamo, soya y arroz. Una relocalización a zonas con bajos rendimientos generó una gran fragilidad competitiva y planteó la posibilidad de persistir con disminuciones en la superficie cosechada, el arroz, uno de los cultivos que se castigó. Sin embargo, en frijol y maíz blanco se observó el mayor crecimiento en la superficie cosechada (p. 42).

De acuerdo con Delgadillo y Leos (2016) la producción agrícola de maíz se elevó en Sinaloa, considerado el principal productor de maíz blanco donde se caracteriza por la combinación del factor superficie y rendimiento (72%) en el período de 1980 a 2016 (p. 645). El efecto combinado predomina y estimula la producción. Sin embargo, la producción de arroz en Sinaloa fue erradicada

debido a la sequía de 1990 a 2010 ante escases de agua (Calderón & Farias, 2020, p. 728).

La estructura económica y los acuerdos comerciales brindan acceso a un mercado de competitividad agrícola. Este escenario orienta actividades de menor rentabilidad debido a la dificultad de competir a nivel internacional, ante la falta de competitividad aumenta la importación de alimentos para satisfacer la demanda interna. Martínez-Salvador (2013) menciona “En México, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, agudizó los problemas de producción de alimentos, se incrementó las importaciones de granos para satisfacer la demanda interna, asociado a costos de producción menores en el extranjero” (p.62).

Se necesito fortalecer estrategias en materia de política de importación de productos estratégicos como el arroz, donde un factor económico de suma relevancia fue el precio internacional. Durante la primera década del siglo XXI, Puyana y Romero (2004) mencionan:

Las importaciones concentraron fracciones crecientes del consumo aparente de bienes agropecuarios... la participación de las importaciones en el consumo nacional aparente del frijol ganó un punto porcentual, el trigo, el arroz y la soja tuvieron incrementos por encima de diez puntos porcentuales (p.88).

Dos alzas significativas de precios en productos agrícolas se presentaron la primera de 2006 a 2008 y la segunda de 2010 a 2011. El primer incremento de precios se presentó de agosto de 2006 a 2008 cuando los precios de los alimentos se incrementaron en 70.9%. Los precios de los cereales se duplicaron sobradamente aumentaron en 128.7%, en particular el precio internacional del arroz aumentó 168.5%, el del maíz 117.9% y el de trigo 90% (Gómez & Granados, 2016, p. 26). Una segunda crisis alimentaria mundial se presentó entre junio de 2010 y febrero de 2011 el incremento de precio de 41%.

El modelo económico de exportación de materias primas sentó sus bases en la competencia internacional, Rivera et al. (2015) mencionan las dificultades del modelo para el sector mexicano:

A pesar del plan de Desarrollo Rural Sostenible, México empezó el sexenio 2006 a 2012 con una política persistente del modelo “hacia afuera”, cimentado en la producción de exportaciones competitivas en el mercado mundial, mientras la producción de alimentos tradicionales o básicos quedó sujeta a los precios internacionales y a la competencia con las importaciones (p.39).

Ante este escenario los productores buscan rentabilidad en otros cultivos y en ocasiones al deteriorarse las oportunidades de crecimiento, se desvinculan del sector:

Otra razón que puede explicar la disminución de la superficie sembrada es la baja rentabilidad y la desvinculación de los productores con el mercado, ya que ellos considerarán la opción más rentable, con base en los precios de venta del ciclo agrícola anterior (Delgadillo & Leos, 2016, p. 646).

Para Rivera et al. (2015) “La superficie sembrada no fomenta la expansión del área... por el contrario, desde la firma del TLCAN se ha impulsado recurrentemente la reconversión productiva” (p.40). La reconversión productiva implica la búsqueda de mejor rentabilidad sujeto al precio agrícola.

En México la superficie sembrada y cosechada permanece relativamente estable desde 2006 (FIRA, 2019). Actualmente la superficie cosechada asciende a 20.7 millones de hectáreas con nuevas áreas para la producción en Estado de México, otras áreas dejaron de sembrarse (GCMA, 2021, p. 18). La migración de cultivos incrementa la tendencia a la importación de alimentos. El arroz continuó con una tendencia a la importación, llegó a niveles superiores al 80% en la segunda década del siglo (Reyes et al., 2024).

2.4 Estimulo a la producción agrícola en México

El análisis de la producción de arroz en México permite valorar los requerimientos de estrategias para incrementar los apoyos hacia este cultivo. De acuerdo con González (2001) la agricultura mexicana enfrentó un proceso de transformación en el trabajo agrícola, mano de obra, introducción de paquetes tecnológicos, especialización; elementos relacionados con el incremento en la productividad del sector agrícola mexicano.

El proceso de transformación estructural caracterizado por la liberalización comercial y financiera en México afectó de manera considerable a los cultivos básicos. La evaluación de estrategias de desarrollo agrícola relacionadas con la incorporación tecnológica de nuevas formas y procesos de producción ha avanzado consecuente y eficientemente para favorecer la competitividad de cultivos (Gómez-Castillo, 2005, p. 40).

La relocalización de la agricultura manifiesta el interés de producir mediante la vía intensiva en el norte de la república mexicana, principalmente en Sinaloa y Sonora, con siembra de maíz blanco y frijol, cultivos clave por su importancia cultural y tradicional.

En la segunda mitad del siglo XX la estructura del pequeño productor garantizaba el abasto de la demanda interna de granos, frutas, hortalizas, etc., brindó continuidad a la estructura social del pequeño productor. En el siglo XXI, los cambios experimentados en el sector agrícola mexicano se caracterizaron por reorientar la siembra de cultivos hacia productos de mayor rentabilidad, la continuidad del pequeño productor quedo supeditada ante tal escenario.

El modelo económico en busca de productividad y beneficios del comercio internacional apoyó a los cultivos de mayor rentabilidad económica, disminuyó la intervención estatal referente a granos básicos y pequeña agricultura (Zagoya et al., 2017). El arroz experimentó una disminución en superficie sembrada y producción, aunado a un incremento en el nivel de importaciones.

La modernización de la agricultura trasladó las actividades agrícolas tradicionales del pequeño productor del campo hacia una agricultura industrializada, caracterizada por formar grandes estructuras de producción y concentró actividades de distribución y comercialización agrícola (Delgadillo & Leos, 2016). La agricultura mostro un crecimiento en la producción intensiva de frutas, hortalizas, maíz blanco y frijol, olvidó cultivos como la soja, el arroz y maíz amarillo originando una dependencia en el sector externo.

El campo mexicano recibió el programa de precios de garantía en 1961 bajo la Compañía Nacional de Subsistencias Populares CONASUPO. El objetivo principal de la política agrícola aplicada durante la fase de precios de garantía fue incrementar la producción agrícola para garantizar la producción de alimentos y materias primas baratas y apoyar así la industrialización (Ortiz, 2009). En 1994 con la formalización del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se terminó una forma de intervención gubernamental en la economía particularmente en la agricultura a través del establecimiento de los precios de garantía (García, 1979, como se citó en Ortiz y Damián, 2019).

La eliminación de subsidios a insumos desincentivó la producción de algunos cultivos, de acuerdo con Hernández y Damián (2009):

Los impactos del TLCAN abarcaron aspectos específicos, como son la producción, el cambio en la estructura productiva y modificaciones en el patrón de cultivos. Investigadores concluyeron implícitamente que el cambio de política de precios de garantía a los apoyos directos al productor provocó la reducción en producción de granos y oleaginosas debido a la falta de competitividad de México con relación a EE. UU. y Canadá (p.154).

Actualmente el modelo de precios de garantía se encuentra bajo el programa de Seguridad Alimentaria Mexicana (SEGALMEX), organismo descentralizado de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y la Dirección General de Operación adscrita a la Coordinación General de Inteligencia de Mercados Agroalimentarios de la Secretaría de Agricultura, con

el objetivo de incrementar el ingreso de los pequeños productores agropecuarios, estimular la producción nacional de granos básicos y leche, así como garantizar la disponibilidad de alimentos de la canasta básica, principalmente en el medio rural.

Actualmente los precios de garantía se conocen como precios de garantía para pequeños y medianos productores, se otorga para cubrir las diferencias entre el precio de garantía y el precio de referencia, busca incrementar la producción de maíz, frijol, trigo, arroz y leche fresca. Se diseña por dos vías, el límite de superficie (8 ha para arroz) y volumen máximo de compra (120 a 300 toneladas). El apoyo básico de hasta 180 toneladas y un apoyo por productividad para 120 toneladas adicionales con 50% del apoyo básico (Secretaría de Bienestar, 2025). El alcance de la población es de 2 millones de productores agrícolas y pecuarios en el país (SADER, 2021).

Una medida de política agrícola que pretende mejorar las condiciones de ingreso en el sector rural es el programa “Sembrando Vida”, busca atender dos aspectos importantes del campo, la primera la pobreza rural y segundo la degradación ambiental. Se propone reactivar la economía local y promover el tejido social de las comunidades a partir de la inclusión productiva, el fomento al ahorro y el cuidado del medio ambiente. En palabras de Turren y Cortes (2005), la adopción y el desarrollo de un nuevo paradigma agrícola contribuiría a rescatar al sector mayoritario, el pequeño agricultor y la seguridad alimentaria del país.

El Plan México propuesto busca incrementar la soberanía y autosuficiencia alimentaria para el año 2030. En cuestión de producción agrícola, el programa Productora de Semillas para el Bienestar (PROSEBIEN) busca incrementar la superficie cosechada de frijol y arroz con semilla calificada para elevar el rendimiento y competitividad.

Parte del conjunto de programas impulsados por el gobierno son: 1) cosechando soberanía, un programa para productores; 2) Alimentación para el bienestar, en miel, cacao y café; 3) Liconsa, producción y comercialización de leche; 4) Fertilizantes para el bienestar en apoyo a la producción; y 5)

Producción para el bienestar, diseñada para elevar la producción en el sur del país.

La participación del Estado se manifiesta en los esfuerzos del gobierno para diseñar estrategias de ingresos al productor. Las transferencias monetarias son el eje de incentivos principal, reconocen la necesidad de atender los desabastos en cereales a nivel nacional.

2.5 Enfoque para analizar la producción agrícola

En la teoría económica una función de producción es una combinación de insumos (tierra, trabajo y capital) necesaria para obtener una cantidad de producto. Una función de producción debe de ser continua, diferenciable y decreciente (Pasinetti, 1984, p. 45).

Una de las primeras aportaciones al análisis de la producción las realizó Knut Wicksell, ofreció una propuesta de modelo de producción con simplificaciones con los insumos capital y trabajo.

$$Y = f(k, L)$$

El origen de la función de producción tipo Cobb Douglas nace en la década de 1960, tras el interés de explicar la distribución de la renta nacional entre capital y trabajo. Paul Douglas, observó la distribución de la renta en los Estados Unidos y quiso explicar las condiciones de participación constante de los factores entre “ K ” y “ L ”. El desarrollo teórico y matemático de la función de producción Cobb Douglas se propuso por Paul Douglas y Charles Cobb, en

ella se establece la participación constante de los factores si ganan siempre el producto marginal (Mankiw, 2014, p.118). Una función de producción tipo Cobb-Douglas se expresa como:

$$Y = A \cdot K^{\alpha} L^{1-\alpha}$$

Donde:

Y : producción

A : tecnología o progreso tecnológico

K : factor capital

L : factor trabajo

α : constante, tasa de utilización del factor K

$1 - \alpha$: constante, tasa de utilización del factor L

De acuerdo con Gujarati (2010) las propiedades de la función de producción Cobb-Douglas son:

- La función $f(y)$ es una función homogénea de primer grado.
- La constante " α " es la elasticidad (parcial) de la producción respecto al insumo capital " K ", con el insumo trabajo " L " constante.
- La constante " $1 - \alpha$ " es la elasticidad parcial de la producción respecto al insumo trabajo " L ", con el insumo " K " constante. Mide el cambio porcentual en la producción debido a una variación de 1% en el insumo trabajo, con el insumo capital constante.
- La suma de $(\alpha + (1 - \alpha))$ da información sobre los rendimientos a escala, la respuesta de la producción a un cambio proporcional en los insumos:
 - I. Si la suma es 1, existen rendimientos constantes a escala. La duplicación de los insumos duplica la producción, la triplicación de los insumos la triplica, así sucesivamente.
 - II. Si la suma es menor a 1, existen rendimientos decrecientes a escala: al duplicar los insumos, la producción crece en menor proporción.

- III. Si la suma es mayor que 1, hay rendimientos crecientes a escala; la duplicación de los insumos aumenta la producción en mayor proporción.

La función Cobb Douglas tiene una productividad marginal para el trabajo y capital:

$$PML = (1 - \alpha) AK^\alpha L^{1-\alpha}$$

$$PMK = \alpha AK^\alpha L^{1-\alpha}$$

Cuando el producto marginal de los dos factores cambia, un aumento de la cantidad de capital eleva el PML y reduce la PMK . Un aumento de la cantidad de trabajo reduce el PML y eleva el PMK . Un avance tecnológico “A” eleva el producto marginal de los factores proporcionalmente (Mankiw, 2014, p.120).

$$PML = (1 - \alpha) Y/L$$

$$PMK = \alpha Y/K$$

El PML es proporcional a la producción por trabajador y el PMK es proporcional a la producción por unidad de capital.

Y/L : se denomina productividad media del trabajo

Y/K : se llama productividad media del capital.

Cuando la función de producción es Cobb-Douglas, la productividad marginal de un factor es proporcional a su productividad media. El cociente entre la renta del trabajo y la renta del capital es una constante: $(1 - \alpha) / \alpha$

La participación de los factores sólo depende del parámetro “ α ” nunca de la cantidad de insumo capital, trabajo y estado de la tecnología.

Al incorporar un enfoque extenso de la producción agrícola se identifica el grado de respuesta ante factores externos de carácter social, económico, político, cultural, ambiental, institucional, material y tecnológico (García-Mata et al., p. 143). La producción agrícola se caracteriza por enfrentar múltiples

escenarios de incertidumbre asociados a factores que dificultan el análisis la producción agrícola de un periodo a otro (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores que afectan la producción agrícola.

Factores	Primero	Segundo	Tercero
Sociales	Estructura social del sector agrícola	Tipo de propiedad agrícola	Orientación de la producción agrícola nacional o de exportación
Económicos	Precio del producto agrícola, precio relativo de otros cultivos, etc.	Precio de los insumos de producción	Esquemas de inversión y horizonte temporal
Políticos	Programas gubernamentales: programa de conservación o retiro de tierras	Fijación de precios de los productos agrícolas	Grado de restricciones comerciales
Culturales	Organización de la producción agrícola	Estrategias de comercialización local	Restricción de superficie a cultivar
Institucional	Tipo de política agrícola	Estructura agrícola dominante	Gestión de apoyo a la agricultura mediante la pequeña organización
Ambientales	Limitaciones del clima: inundaciones, heladas, sequías, etc.	Tipos de suelo: impacto en el rendimiento de los cultivos	Rotación de cultivos y deterioro ambiental
Material y tecnológico	Disponibilidad de equipo y tecnología de producción agrícola	Grado de especialización de los agricultores	Tipo de semilla utilizada en el proceso de siembra

Adaptación: Elaboración propia con base en Tomek y Kaiser (2014) y García et al. (2003).

Para observar el efecto de una variable en la producción agrícola, *ceteris paribus* se espera la siguiente relación entre variables:

- El precio esperado del producto (Pq) tiene una relación positiva con la producción agrícola. El productor tiene expectativas de mayor rentabilidad.
- Los precios de los insumos (Pi) semillas, fertilizantes, mano de obra, etc., tienen una relación negativa con la producción agrícola, representan un encarecimiento.
- El estado de la técnica dada por la forma de la función de producción (A). La tecnología tiene una relación positiva con la producción, una mejora tecnológica permite procesos de producción que demandan menor esfuerzo, costo o insumo.
- El precio de un producto que compite por los mismos insumos o recursos en la zona productora (Pc) tiene un efecto negativo en la decisión de producción. Cuando aumenta el precio los productos que compiten por los mismos insumos el productor puede orientar recursos hacia el cultivo que tenga mejor expectativa de rentabilidad.
- El precio de los proyectos conjuntos, acoplados o intercalados (Pa) tienen una relación positiva con la producción agrícola en expectativas de precios.
- El clima, precipitación pluvial por periodo, disponibilidad de agua para riego, sequía, etcétera (W). Las expectativas de clima tienen una relación directa con las decisiones de producción agrícola. Cuando se espera un clima favorable los productores desearán producir, de lo contrario habrá escasos incentivos de producción. La característica importante del clima es que es impredecible, siempre representa un riesgo para el productor, toma en cuenta el número de hectáreas, el tipo de cultivo (anual o perenne), la estructura del cultivo y tipo de suelo que afecta el rendimiento.
- Políticas gubernamentales (N): tienen un efecto directo en la producción, ante restricciones de política la decisión de producción será producir menos, ante estímulos gubernamentales, la decisión de producir será favorable.

- Las medidas institucionales (Ig). tienen una relación positiva con las decisiones de producción agrícola: los programas de ampliación de tierras para cultivo, vedas para abrir pozos de agua para riego, subsidio a los factores de la producción, precios de garantía, subsidios directos, etc.
- Expectativas del productor (E). Las expectativas tienen un rol positivo en la decisión de producción agrícola. Con expectativas de rentabilidad, la producción aumentará y con expectativas de pérdida, la producción agrícola se verá limitada.
- Inventarios o stocks, reservas y existencias (St): tienen una relación inversa con las decisiones de producción agrícola. Cuando la producción previa se encuentra almacenada para satisfacer la demanda presente, los productores tienen menores incentivos productivos.

A primera vista el precio es el principal factor para indagar sobre las decisiones de producción. Sin embargo, la decisión de producción o compra de los productores y consumidores no se rige únicamente por el precio (Tomek y Kaiser, 2014, p.4). Productores y consumidores ninguno responde ante un cambio en el precio de manera fija, el grado de respuesta y el papel de otros factores y los programas gubernamentales tienen una implicación potencial al analizar el comportamiento de los precios de las materias primas durante un período, esto dificulta la capacidad de abstracción de los factores.

2.6 Métodos utilizados para abordar el análisis de la producción agrícola

El análisis de la producción en el sector agrícola relaciona la superficie sembrada, cosechada, el rendimiento, la relación de precios, el uso de tecnología, entre otras variables, se describe a partir de la interpretación teórica de la producción y sus determinantes estructurales. Con el fin de construir modelos de producción se puede obtener e identificar la magnitud y

dirección del impacto de parámetros que afectan la decisión de los productores agrícolas.

El sector agrícola puede ser analizado mediante construcciones de modelos para la producción agrícola, la demanda de insumos, función de oferta, rendimiento, etc. Para el análisis del sector agrícola algunos ejemplos de modelo son: modelos para la producción de bienes, modelos para determinar el rendimiento de los sistemas logísticos, modelos de ruteo de vehículos, entre otros (Muñoz et al., 2020, p.117). Además de la producción elementos de la teoría del comercio internacional y la teoría de las ventajas comparativas.

El análisis de la producción se realiza por diferentes métodos. Uno de los primeros modelos es el de Venezian y Gamble (1969) una forma de medir el efecto del rendimiento, efecto superficie, o bien, el efecto combinado en la producción de productos agrícolas (Delgadillo & Leos, 2021, p. 640). El modelo de Venezian y Gamble permite analizar la superficie cosechada que se apoya en el efecto intensivo (el rendimiento) y la mejora de la superficie a diferencia del extensionismo agrícola. La superficie cosechada es la efectividad de los paquetes tecnológicos de insumos aplicables en el sector agrícola, medida a través del rendimiento.

En Delgadillo y Leos (2016) la producción de frijol se modela mediante Unidades Rurales de Producción (URP), emplean tecnología de producción común en la región. La técnica permite calcular los costos económicos, financieros y de flujo neto de efectivo o desembolsados para determinar la existencia de incentivos de producción.

Una forma de analizar la producción es mediante el análisis temporal. Para Zavala (2006) se utiliza un modelo clásico de series de tiempo de indicadores: superficie cosechada, rendimiento físico y económico de los principales cultivos, volumen y valor de la producción, y diversificación productiva (p.66). Supone una suma o producto de tres componentes: tendencia, estacionalidad y un término de error aleatorio, el modelo más adecuado para la producción es un modelo polinomial.

El análisis de la producción también se realiza mediante mapas tecnológicos, proporcionan una propuesta de mejora para la competitividad. Mediante la identificación evaluación y la selección de una tecnología se puede mejorar la primera etapa de una cadena de producción. La tecnología propuesta va de la preparación física de los terrenos de cultivo, hasta estrategias institucionales del sector público y privado (Fuentes, 2008). Otra forma de analizar la producción se observa en Mendoza (2014) mediante una red de valor que permite incrementar la competitividad del arroz mexicano mediante la adopción de tecnologías en el sector. Demuestra que la competitividad resultante del desarrollo de la tecnología es importante para la determinación de la producción.

El análisis de Ireta et al. (2016) analiza la permanencia de la producción de arroz, calcula el efecto superficie y el efecto rendimiento en la producción de acuerdo con la metodología de FAO (1994). El efecto superficie se obtiene para el año "*n*" (año de estudio) al mantener constantes los rendimientos y los precios, sólo varía la superficie. En el efecto rendimiento se mantiene constante tanto la superficie como los precios y sólo varía el rendimiento. El efecto combinado resulta de la interacción del efecto rendimiento y el efecto superficie, la suma de los tres efectos explica la TMAC (tasa media anual de crecimiento) de la variación de la producción. Demuestra que la superficie y el rendimiento son variables determinantes de la producción.

La producción agrícola también puede ser analizada mediante variables nominales. Para Hernández y Segura (2016) la estimación del valor de la tierra es una variable decisiva en la producción, mediante un modelo econométrico a partir de una construcción iterativa paso a paso en un modelo de regresión que implica la selección automática de variables independientes como: Valor por hectárea; distancia o ubicación; rendimiento o ingreso bruto; índice de siniestralidad; superficie; costo de producción (p.5). La reducción del modelo plantea a la variable endógena (producción) determinada por la variabilidad del ingreso bruto, elimina la variable superficie y el índice de siniestralidad por problemas de correlación entre las variables, se observa que el modelo que mejor da respuesta es el lineal.

El análisis de Pérez et al. (2017) modela la producción agrícola en función de la superficie cosechada bajo riego, la superficie cosechada, la población, el fertilizante y la maquinaria (número de tractores) en la construcción de una función de producción Cobb Douglas, encontró a la superficie cosechada bajo riego, población económicamente activa del sector agrícola y el fertilizante como variables explicativas.

Otra forma es analizar la rentabilidad de la producción es el enfoque de la dinámica de precios de mercado, se observa en González et al. (2018) introduce el análisis de la competencia directa entre agentes económicos y así disminuye su impacto sobre los precios que percibe el consumidor. Esto se refleja en una política de mercado nacional y de importación. Mediante un modelo multiplicativo que se corresponde con los datos, tiene la ventaja de facilitar el cálculo de las elasticidades a través del uso de logaritmos naturales. Muestra que la política de competencia favorece las políticas de importación vía precios menores.

En Caicedo et al. (2019) se observa una vinculación de un sistema de producción agrícola de arroz a la rentabilidad, el área donde se diseña esta estrategia debe estar en función de los costos fijos el rendimiento promedio local, el rendimiento promedio regional y los precios. La producción está determinada por rendimientos y variables de costos fijos de producción.

Para Guzmán et al. (2019) el análisis económico de la producción de frijol se modela mediante un modelo de ecuaciones simultáneas, cinco ecuaciones de regresión y una identidad, en la cual se propone determinar el consumo, la oferta y su relación con la producción, así como la transmisión de precios relacionados. Esto le permite identificar excedente de consumidor y de productor, así como identificar el impacto de las variables de precios sobre la oferta del grano del arroz.

La modelación de Caballero (2020) es una investigación de tipo correlacional que tiene como finalidad conocer el grado de asociación que existe en la producción de arroz y la superficie sembrada, además del aporte al consumo. Menciona que “los estudios correlacionales muestran cómo se puede

comportar un concepto o variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas” (Caballero, 2020, p.23). Se encuentra una fuerte correlación entre la producción y la superficie sembrada.

En Carrasco (2020) se modela la producción frutal. Utilizando el método de Box y Jenkins (1976) un enfoque moderno del análisis de series de tiempo con procedimiento de construcción de un modelo ARIMA y SARIMA. Los pasos del procedimiento son la realización de un proceso estocástico estacionario; especifica el orden del modelo ARIMA y SARIMA, las funciones de autocorrelación empírica; la estimación de los parámetros se puede realizar con el método de máxima verosimilitud o mínimos cuadrados ordinarios. En el diagnóstico se verifica la viabilidad del modelo mediante pruebas a los parámetros y residuos del modelo. Además, pronostica para interpretar un fenómeno (Carrasco, 2020, p. 36).

El arroz también se relaciona con la competitividad. En Favilla y Herrera (2023) se realiza un diagnóstico de la competitividad del arroz mexicano en el sector. Los resultados se desprenden del cálculo de índices, por ejemplo: balanza comercial (BC), índice de autosuficiencia alimentaria (IAA), índice de apertura comercial (IAC). Asocia la falta de competitividad de arroz a la escasa participación de estímulos productivos y atención a los pequeños productores.

El análisis de arroz también se realiza mediante el estudio del mercado, Reyes et al. (2024) utilizan un modelo de ecuaciones simultaneas, una función de oferta, una de demanda, dos transmisiones de precio y una identidad del saldo en el comercio exterior. Los factores que más afectan la producción de arroz en México son la temperatura, el precio medio rural del maíz y la disponibilidad de agua para riego.

En cuanto a métodos, el Cuadro 2 permite observar de manera sintética y cronológica, la evolución de los estudios, resaltando la metodología y el uso de la econometría. En resumen, el estudio del arroz está relacionado con variables reales y nominales, características de la esfera productiva agrícola y de la distribución económica, como es la superficie agrícola, el rendimiento. la dinámica de precios, la determinación de rentabilidad y valor de la tierra.

Cuadro. 2 Estudios sobre producción agrícola.

Autores	Método utilizado
Mendoza (2014)	Analiza la producción mediante mapas tecnológicos, proporcionan una propuesta de mejora para la competitividad, mediante la identificación, evaluación y la selección de una tecnología. Se puede mejorar la primera etapa de una cadena de producción.
Ireta-Paredes, et al. (2016)	Analiza la producción de arroz, calcula los efectos de la superficie y rendimiento en la producción de acuerdo con la metodología de la FAO (1994).
Pérez et al. (2017)	Modela la producción agrícola en función de la superficie cosechada bajo riego, superficie cosechada, población, fertilizante y maquinaria (número de tractores). Las variables explicativas son la superficie cosechada bajo riego, población y fertilizante.
González, et al. (2018)	Modela la competencia directa con agentes económicos y así disminuye su impacto sobre los precios que percibe el consumidor. Esto se refleja en una política de mercado nacional y una política de importación.
Pérez et al. (2018)	Modela la producción agrícola en función de la superficie cosechada bajo riego, la superficie cosechada, la población, el fertilizante y la maquinaria agrícola.
Caicedo et al. (2019)	Analizan la producción agrícola de arroz en función de la rentabilidad, si el área donde se diseña la estrategia debe estar en fusión de los costos fijos, el rendimiento promedio local, el rendimiento promedio regional y los precios.
Guzmán et al. (2019)	Modela la producción mediante ecuaciones simultáneas, cinco ecuaciones de regresión y una identidad, en la cual se propone determinar el consumo, la oferta y su relación con la producción, así como la transmisión de precios relacionados. Permite calcular excedente de consumidor y de productor.
Caballero (2020)	Modelo correlacional para conocer el grado de asociación que existe en la producción de arroz y la superficie sembrada.
Carrasco (2020)	El método de Box y Jenkins (1976) plantea un enfoque moderno del análisis de series de tiempo con procedimiento de construcción de un modelo ARIMA.
Reyes (2024)	Mediante un modelo de ecuaciones simultáneas: una de oferta, una de demanda, tres de transmisión de precios y una identidad de saldo de comercio exterior.

2.7 Métodos para analizar el factor ambiental en la producción agrícola

Las variables que se relacionan con la producción agrícola incluyen factores relacionados con insumos productivos, características geográficas, aspectos climáticos, políticas agropecuarias, características socioeconómicas, entre otros. De acuerdo con Tomek y Kaiser (2014) “la agricultura se convierte en un proceso productivo complejo, de menor control respecto a las actividades industriales” (p.53).

El factor climático es un determinante de decisiones de producción agrícola que aumenta la capacidad de analizar el sector agrícola, pero aumenta la susceptibilidad ya que eleva los escenarios de incertidumbre.

El análisis de la producción agrícola difícilmente puede quedar exento de complicaciones que se deriven del clima. De acuerdo con Adams (1989) el clima es uno de los principales determinantes de la productividad en el sector agrícola y la productividad se mide por la estimación del rendimiento (toneladas por hectárea) que depende de otras variables. Por tanto, las decisiones de producción también obedecen a las fluctuaciones del clima observado en periodos previos.

Las fluctuaciones de mercado como la variación del precio del bien, precio de bienes relacionados o precio de insumos cambian las relaciones de producción agrícola, pero la producción agrícola no depende únicamente del mercado, el clima manifiesta su influencia. De acuerdo con Ocampo (2011):

Existen cambios en variables conexas relevantes con sustento científico como: la temperatura, la precipitación, la concentración de dióxido de carbono y la humedad del suelo. Sin embargo, al utilizar variables de gestión como cambio tecnológico, mercado y políticas públicas, se dificulta la evaluación del clima de forma aislada (p.19).

El comportamiento de las variables conexas al clima en periodos previos influye en las decisiones de producción. Los productores observan valores rezagado de precipitación, disponibilidad de agua o temperatura para apostar

por determinado cultivo o zona de producción esperando fluctuaciones relacionadas con algún patrón estacional.

En cuanto a variables nominales o de gestión agrícola la susceptibilidad compromete la productividad agrícola, mientras que los recursos de tierra y agua son menos abundantes y los efectos del cambio climático ofrecen una gran incertidumbre (Ocampo, 2011, p.116). Estos dos elementos, mercado y clima, guardan una complejidad para predecir el comportamiento de los mercados aunado a la dificultad de medir el proceso natural de la agricultura. Además, dificultan la capacidad de abstracción al momento de analizar el sector agrícola.

De acuerdo con Tomek y Kaiser (2014) el papel que desempeñan las instituciones, los programas gubernamentales (incluidas medidas de conservación, o retirada de tierras), las limitaciones del clima, el tipo de suelo, la disponibilidad de equipo, la tecnología de producción y las preferencias personales, influyen en las decisiones de producción de los agricultores. Sin embargo, los esfuerzos por estudiar la producción agrícola que vincula variables de gestión y variables conexas al clima muestran un acercamiento vía productividad, se observa al analizar el rendimiento agrícola, el índice de precipitación e índice de siniestro de la superficie cosechada.

Los estudios que vinculan agricultura y clima centran sus estudios en la estimación en la producción, valor de la producción, valor de las exportaciones, ganancias agrícolas o rentabilidad, competitividad y determinación de rendimiento.

En la literatura los trabajos realizan la estimación del rendimiento a partir de modelos econométricos, desagregan la producción, la infraestructura, uso de biotecnología, semilla mejorada y uso de crédito. Desagregan factores geográficos, climáticos, políticas agropecuarias y socioeconómicas, entre otras.

Uno de los primeros estudios es el de Everson y Kisvel (1973) donde analizan el rendimiento en trigo y maíz, encuentran una relación alta en la importancia de los apoyos en investigación agrícola (p.1324).

Por su parte, Gowon et al. (1978) analizan el rendimiento en riego programado fenológicamente para maíz mediante el suministro de agua controlada. Encuentran que para el rendimiento óptimo se requiere aplicar suficiente agua al cultivo en el momento crucial de la etapa fenomenológica (p. 145).

En los primeros estudios que utilizan las variables de clima se encuentra la metodología de Mendelsohn, et al. (1994), miden el impacto económico del clima en los precios de la tierra, encontraron que el calentamiento global (elevación de la temperatura) podría tener beneficios económicos para la agricultura.

Posteriormente, Kumar y Parikh, 2001; Kurukulasuriya et al. 2006; Reinsborough, 2001 y Seo et al. 2005; estudian la influencia del clima en la agricultura.

El trabajo de Kumar y Parikh (2001) estudia el valor de las exportaciones agrícolas, explora la influencia del clima anual y los precios de los cultivos en la función de respuesta climática, al igual que Reinsborough (2001) encuentra que el valor de la tierra y clima da un límite superior ligeramente positivo para los beneficios agrícolas del cambio climático, mediante datos de corte transversal.

En Seo et al. (2005) se realiza un estudio que mide el impacto del cambio climático en el ingreso neto de la agricultura mediante el método ricardiano. Utiliza la variación de temperatura, sólo permite una prueba simple del impacto de la temperatura. El mayor rango de precipitación predice que el aumento de las precipitaciones será beneficioso para el país en su conjunto, pero prevé el aumento de la temperatura perjudicial.

De igual manera, Kurukulasuriya et al. (2006) utiliza datos de una encuesta de más de 9 mil agricultores en países africanos, con un enfoque transversal estima cómo los ingresos netos agrícolas se ven afectados por el cambio climático en comparación con la temperatura media actual principalmente en cultivos de secano, mientras que se ven estimulados en los cultivos de regadío que son menos sensibles al clima. Por tanto, con agua disponible, el riego constituye una adaptación práctica al cambio climático.

Por otra parte, Deschenes y Greenstone (2007) miden el impacto económico del cambio climático en las tierras agrícolas estadounidenses. Utilizan datos de panel con efectos fijos, con periodicidad anual por condado y estado. Vinculan la estimación del efecto de la variación aleatoria interanual de la temperatura y la precipitación con ganancia agrícola. El análisis indica que el aumento previsto de temperatura y precipitación prácticamente no tendrán efecto en el rendimiento de los cultivos más importantes (Deschenes & Greenstone, 2007, p.369).

Después de críticas Deschenes y Greenstone (2012) argumentan y mejoran su aportación al indicar que los modelos de cambio climático tienen mayor impacto en las ganancias agrícolas que los modelos econométricos que consideran shocks locales en los precios de insumos, productos y la productividad (p.3771).

La diferencia entre el rendimiento de los cultivos y las ganancias, como resultados, se debe a la capacidad de adaptación a corto plazo pues proporcionan un indicador más completo de la productividad en el sector agrícola que el rendimiento.

Una forma de analizar el rendimiento en América Latina se observa en Seo (2008a) estima cuatro modelos, un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios, uno de datos panel y dos modelos con estructura espacial de rezagos y errores espaciales. Los resultados muestran una fuerte correlación espacial en los valores de la tierra entre regiones, por lo tanto, los modelos espaciales llevan a la estimación de efectos sustancialmente distintos (menores) que los modelos que no incluyen consideraciones espaciales (p.195). Concluye que el mejor modelo para predecir los daños del cambio climático es el modelo MCO.

La teoría de la localización de Von Thünen brinda soporte a los modelos econométricos que no consideran la naturaleza espacial, pero generan estimaciones sesgadas de los parámetros climáticos, ya que asignan erróneamente la diferencia en el valor de la tierra resultante de la dependencia

espacial a la derivada de la variación climática (Anselin, 1988; Dubin, 1988; Benirschka y Binkley, 1994; Olmo, 1995, como se citó en Seo, 2008a, p.196).

En Cadet y Guerrero (2015) se muestra que las variables determinantes del rendimiento pueden obtenerse a partir de una muestra de sección cruzada y un modelo de regresión lineal iterativo que depende de variables tecnológicas, geográficas y socioeconómicas (p.313). Las variables influyentes son las semillas mejoradas, insecticidas, el acceso al crédito y el riego para la determinación del rendimiento.

En cuanto a los métodos econométricos utilizados para relacionar el rendimiento con el impacto del clima en variables como temperatura y precipitación, de acuerdo con (Lobell & Burk, 2010, como se citó en López & Hernández, 2016) predomina el uso de series de tiempo, datos panel y datos de sección cruzada. Las series de tiempo son una herramienta adecuada para analizar la precipitación, mientras que datos panel y sección cruzada son útiles para analizar la temperatura (p. 474).

En Lobell y Burk (2010) se observa que los modelos estadísticos basados en rendimientos históricos, medidas meteorológicas simplificadas (temperatura y precipitación promedio) muestran mejoras en el rendimiento cuando los sitios individuales se agregaron a los promedios a nivel de país (p.1451).

Los modelos históricos son una herramienta útil para proyectar las respuestas futuras del rendimiento, utilizando escalas espaciales amplias. Además, las proyecciones climáticas son confiables y disponibles, es probable que los modelos estadísticos sigan desempeñando un papel importante en la anticipación de los impactos futuros del cambio climático.

Para incorporar el factor ambiental al análisis del rendimiento Espinosa et al. (2017) relaciona el índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) y el índice de estrés de humedad (MSI) en riego, mediante el monitoreo espacial del suelo y temporal del desarrollo fenológico de los cultivos (p.179). Encontraron que los factores notables son los meteorológicos, precipitación y la temperatura.

En Traore et al. (2020) utilizan un modelo de regresión lineal múltiple para pronosticar arroz en seco. Mediante datos de precipitación mensual y temperatura encuentran que un aumento de temperatura y una disminución de lluvia reduce y dificulta considerablemente el rendimiento del arroz (p.1)

Otra forma de analizar se encuentra en Pant et al. (2021) utilizan el aprendizaje automático para predecir el rendimiento de cuatro cultivos populares en la India: maíz, papa, arroz y trigo.

Los enfoques de aprendizaje automático son para desarrollar un modelo entrenado que identifique patrones entre los datos y lo utilice para la predicción de cultivos. Los modelos incluyen el regresor de gradiente potenciado, el regresor de bosque aleatorio, el modelo de simulación de modelo (SVM) y el regresor de árbol de decisión, el cual obtiene el 96% de significancia para realizar predicciones sobre el rendimiento (Pant et al., 2021, p.10923).

El Cuadro 3 permite observar un resumen cronológico de las investigaciones en el sector agrícola con énfasis en el rendimiento, ingreso o ganancia agrícola, este último considerado en algunos estudios como una estimación real de productividad por su capacidad de ajuste a corto plazo. Se observa: autores, objeto de estudio y variables que vinculan la actividad agrícola, el esquema nominal, el esquema real (el factor tierra) y variables climáticas como temperatura y precipitación.

Cuadro. 3 Análisis de la productividad agrícola.

Autor	Estudio	Variable determinante
Everson y Kisvel (1973)	Rendimiento en trigo y maíz	Investigación agrícola
Gowon et al. (1978)	Rendimiento en riego: maíz	Suministro de agua controlada
Mendelsohn et al. (1994)	Impacto económico del clima en los precios de la tierra	Temperatura
Kumar y Parikh (2001)	Valor de las exportaciones	Clima impacto positivo
Seo et al. (2005)	Ingreso neto de la agricultura	Precipitación benéfica y temperatura perjudicial
Kurukulasuriya et al. (2006)	Ingreso neto de la agricultura	Riego positivo y temperatura perjudicial
Deschenes y Greenstone (2007)	Ganancia agrícola y rendimiento	Temperatura y precipitación sin efecto en el rendimiento
Deschenes y Greenstone (2012)	Ganancia agrícola	Cambio climático tienen mayor impacto
Seo (2008a)	Rendimiento	Temperatura y precipitación
Cadet y Guerrero (2015)	Rendimiento maíz	Semillas mejoradas, insecticidas, acceso al crédito y riego
López & Hernández (2016)	Rendimiento	Temperatura y precipitación
Espinosa et al. (2017)	Rendimiento	Temperatura y precipitación
Traore et al. (2020)	Rendimiento de arroz en secano	Temperatura y disminución de lluvias
Pant et al. (2021)	Rendimiento	Temperatura, precipitación y pesticidas

En cuanto a los métodos de estudio resalta el uso de la econometría. El uso de series de tiempo se ajusta a las investigaciones vinculadas a la precipitación, mientras que el uso de datos de panes y corte transversal se usa al utilizar la temperatura como variable explicativa.

Literatura citada

- Adams, R. M. (1989). Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1272-1279. <https://doi.org/10.2307/1243120>
- Caamal, I., Pat, V., Jerónimo, F., Álvarez, X., Deviana, F., & Ramos, J. (2017). *Contexto económico y competitividad en el mercado mundial del limón persa de México*. Estado de México, México: UACH.
- Caballero, R. (2020). Producción de arroz en Chiriquí en relación con la superficie sembrada y su aporte al consumo nacional. *Faeco Sapiens*, 3(1), 21-40. <http://dx.doi.org/10.48204/j.faeco.v3n1a2>
- Cadet-Díaz, S., & Guerrero-Escobar, S. (2015). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 15(3), 311-337. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000300311&lng=es&tlng=es.
- Caicedo-Camposano, O. Díaz-Romero, O. Cadena-Piedrahita, R. & Galarza-Centeno, G. (2019). Diseño de un sistema de producción de arroz sostenible en Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Killkana Técnica*. 3(1) 19-24. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i1.472.
- Calderón Guzmán, B. J., Frías Sarmiento, E., (2020). Auge y declive de la actividad arrocería en Sinaloa, México: 1960–2010. *Investigaciones Históricas, época moderna y contemporánea*. 40, 701-732. DOI: <https://doi.org/10.24197/ihemc.40.2020.701-732>
- Carrasco Choque, F. (2020). Pronóstico de la producción de las principales frutas en la región de Piura. Un análisis econométrico con el método de Box-Jenkins. *Semestre Económico*, 9(2), 31-44. <http://dx.doi.org/10.26867/se.2020.2.102>

- Centro de Análisis e Investigaciones. (FUNDAR). (14 de agosto de 2014). ¿Por qué es importante la pequeña agricultura? <https://fundar.org.mx/porque-es-importante-la-pequena-agricultura/>
- Datos Estadísticos de la FAO. (FAOSTAT). (2025, 20 de mayo). *Estadísticas de producción de arroz por país*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Delgadillo-Ruiz, O., & Leos Rodríguez, J. (2021). Evolución y caracterización de la producción de granos básicos en México, 1980-2016. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 17 (4), 637-650. <http://dx.doi.org10.22231/asyd.v17i4.1396>
- Delgadillo-Ruiz, O., Leos-Rodríguez, J.A., Valdez-Cepeda, R.D., Ramírez-Moreno, P.P., Salas-González, J.M. (2016). Análisis de la viabilidad de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) En el corto y largo plazo en Zacatecas, México. *Agroproductividad*. 9(5), 16-21. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/754/620>
- Deschenes, O., & Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*. (97), 354-385. https://www3.nd.edu/~nmark/Climate/Deschenes_Greenstone01.pdf
- Deschenes, O., & Greenstone, M. (2012). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Reply. *American Economic Review*. 102(7), 3761–3773. <http://dx.doi.org/10.1257/aer.102.7.3761>
- Espinosa-Espinosa, J. L., Palacios-Vélez, E., Tijerina-Chávez, L., Ortiz-Solorio, C. A., Exebio-García, A., & Landeros-Sánchez, C. (2018). Factores que afectan la producción agrícola bajo riego: cómo medirlos y estudiar su efecto. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(2), 175-191. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-07>

- Everson, R. E., & Kislev, Y. (1973). Research and Productivity in Wheat and Maize. *Journal of Political Economy*. 81 (6), 1309-1329. <http://www.jstor.org/stable/1830742>
- FAO. (2019). El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. FAO. <https://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- FAO. (2020). Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y El Caribe 2020. FAO. <https://www.fao.org/3/cb2242es/cb2242es.pdf>
- Favilla Tello, A., & Herrera Corral, M. A., (2023). Competitividad internacional del arroz mexicano: un análisis con base en datos de comercio exterior. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 12(35), 18-31. <https://doi.org/10.36677/recai.v12i35.21268>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (FIRA). (2019). *Panorama Agroalimentario. Dirección y evaluación económica y sectorial. Maíz 2019*. FIRA. Disponible en <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/11/Panorama-Agroalimentario-Ma%C3%ADz-2019.pdf>
- Flores Verduzco, J. J., & Schwentesius Rindermann. (2001), Razones para renegociar el TLCAN en el sector de granos y oleaginosas de México. En *Estrategias para el cambio en el campo mexicano*. (pp.87-111). Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM.
- Fuentes-Gómez. R., (2008). *La tecnología como herramienta de impulso al sector agrícola: la industria arrocera en México*. [tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. Repositorio Institucional TEC. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/629093>
- GCMA. (2021). *Perspectivas agroalimentarias 2022. México cada vez más dependiente del exterior*. Cuarta edición.

- Gómez-Castillo, R. (2005). Comportamiento de los cultivos básicos a nivel nacional y por zona geoeconómica. [tesis de maestría, DICEA, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional.
- Gómez-Oliver, L., & Granados-Sánchez, R. (2016). Las cuatro grandes empresas comercializadoras y los precios internacionales de los alimentos. *Economía Informa*, (400), 24-39. <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.09.003>
- González, E., Rivera, D., & Jované, J. (2018): La importación y los precios en la cadena de producción de arroz durante el período 2001-2014. *RIC*. 4(2), 62-65.
- González-Estrada, A. (2001). *La descampesinización de México*. DICEA. UACH, México. ISBN: 968-884-720-8.
- Gowon, D. T., Anderson, J.C., & Biswas, B. (1978). An Economic Interpretation of Impact of Phenologically Timed Irrigation on Corn Yield. *Western Journal of Agricultural Economics*, 3(2), 145-156. [10.22004/ag.econ.32553](https://doi.org/10.22004/ag.econ.32553)
- Gujarati, Damodar N. y Porter, Dawn C. (2010). *Econometría*. Mc Graw Hill. Quinta Edición. México, D. F.
- Guzmán-Soria, E., De la Garza-Carranza, M. T., García Salazar, J. A., Rebollar., S., & Hernández-Martínez., J. (2019). Análisis económico del mercado de frijol grano en México. *Agronomía Mesoamericana* 30(1), 131-146. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33760>
- Hernández Trujillo, J. M. (2004). Reestructuración productiva a la inversa: el caso de la producción de granos básicos en México. *El Cotidiano*, 19(123), 30-43. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512304.pdf>
- Hernández-Plascencia, J.A., & Segura-García del Río, B. (2016). Un modelo econométrico para la valoración de la tierra en México. *Agroproductividad*. 9(11), 3-7. https://www.civat.upv.es/wp-content/uploads/2017/05/AGROPRODUCTIVIDAD_XI_2016.pdf

- INEGI. (2020). Estructura porcentual del producto interno bruto por sector de actividad económica. Consultado el 10 de octubre de 2021. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/Cuadrosestadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=785&c=24393>
- Ireta-Paredes, A. D. R., Altamirano-Cárdenas, J. R., Ayala-Garay, A. V., Covarrubias-Gutiérrez, I., & Muñoz-Rodríguez, M. (2016). Factores que explican la permanencia de la producción de arroz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (15), 2981-2993. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i15.420>.
- Kumar, K. S., & Parikh, J. (2001). Indian Agriculture and Climate Sensitivity. *Global Environmental Change*, 11, 147–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00004-8)
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Mohamed Eid, H., Fosu., Gbetibouo, G., Jain, S., Mahamadou, A., Mano, R., Kabubo-Mariara, J., El-Marsafawy, S., Molua, E., Ouda, S., Ouedraogo, M., Séne, I., Maddison, D., Seo, S.N & Dinar, A. (2006). Will African Agriculture Survive Climate Change? *World Bank Economic Review*, 20, 367–388. <https://doi.org/10.1093/wber/lhl004>
- Lechuga-Jardínez, Y., García-Salazar, J. A., Portillo-Vázquez, M., & García Sánchez, R. A. (2014). Efectos del TLCAN sobre el empleo de mano de obra en el sector agrícola de México, 1994-2010. *Región y sociedad*, 26(60), 5-28. <http://dx.doi.org/10.21670/ref.2006.13.a04>
- Lobell, D. B. & Burke, M. B. (2010). On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150(11), 43-1452. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.07.008>
- López Feldman, A. J., & Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>

- Loria, E. (2007). *Econometría con aplicaciones*. Ciudad de México, México: Pearson, primera edición.
- Mankiw, Gregory N. (2014). *Macroeconomía*. Octava Edición. Antoni Bosch Editor. España.
- Martínez, B., & Vallejo, J. (2011). "Las nuevas relaciones rural-urbanas mercados de trabajo en Morelos y el Estado de México". En: Salas H, Rivermar M, Velasco P (editores). *Nuevas Ruralidades. Expresiones de la transformación social en México*. Ed. UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas. México, D.F.
- Martínez-Salvador, Laura Elena. (2013). Modelo econométrico para el volumen de producción de maíz en cultivo de riego (1980-2011). *Tiempo Económico*, 23(8), 61-80.
<http://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/08/23te5.pdf>
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D., (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*, 84, 753–771.
https://econpapers.repec.org/article/aeaaecrev/v_3a84_3ay_3a1994_3ai_3a4_3ap_3a753-71.htm
- Mendoza-Mondragón, R. (2014). Modelo de negocios para incrementar la competitividad de arroz mexicano. [tesis de maestría, CIESTAM, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/20.500.12098/352>
- Muñoz-Pinzón, D. St., Polo-Roa, A., Sierra-Mantilla, E. J., Rueda-Urbe, D. F. (2020). Modelación matemática en estudio de agro cadenas: una revisión de literatura. *Revista politécnica*, (31), 110-137.
doi: [10.33571/rpolitec.v16n31a9](https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a9)
- Ocampo, Olga. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de ingeniería*. 1(33), 15-123. doi: [10.16924/revinge.33.11](https://doi.org/10.16924/revinge.33.11)

- Orozco, H. M., Peña, M. V., García, F. B. & Tapia, Q. J. (2018). Estrategias neoliberales y la transformación de la organización territorial del sector agropecuario en México, 1980-2011. En *Globalización, políticas neoliberales y transformaciones en la organización espacial de la economía mexicana a partir del decenio de 1980*. María Teresa Sánchez-Salazar María Teresa Gutiérrez de MacGregor (pp. 93-120). UNAM. Cd. Mx. DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/gsxxi.li.22>
- Pant, J., Pant, R. P., Singh, M. K., Singh, D. P & Pant, H. (2021). Analysis of agricultural crop yield prediction using statistical techniques of machine learning. *Materials Today: Proceedings*. 46(20), 10922-10926. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.948>
- Pasinetti, L. (1984). *Lecciones de teoría de la producción*. Fondo de cultura económica, 1984. CDMX.
- Pérez-Fernández, A., Caamal-Cauich I., Pat-Fernández V.G., Martínez-Luis D, & Reza-Salgado J. Análisis de los factores que determinan el crecimiento del sector agrícola de México. (2018). *Agroproductividad*. 11(1), 131-135. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/164>
- Prieto-Cornejo M, Matus-Gardea J, Gavi-Reyes F, Omaña-Silvestre J, Brambila, Paz J, Sánchez-Escudero J, & Martínez-Damián M. (2019). Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 173-182. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2019.2.173-182>
- Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. (PESA). (2011). *Seguridad Alimentaria Nutricional, Conceptos Básicos*. 3ra Edición. <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>
- Pureco Ornelas, J. A., & García Crescencio, A. D. (2017). Del Estado al mercado. La tendencia general de la producción del arroz en México,

1930-2010. *Letras históricas*, (17), 157-183.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-83722017000200157&lng=es&tlng=es.

Puyana, A., & Romero, J. (2004). Evaluación integral de los impactos e instrumentación del capítulo agropecuario del TLCAN. Ciudad de México, México. CEE. EL COLMEX.

Reinsborough, M. J. (2003). A Ricardian Model of Climate Change in Canada. *Canadian Journal of Economics*, 36, 21–40.
<https://doi.org/10.1111/1540-5982.00002>

Reyes-Santiago, Ester., Omaña Silvestre, José Miguel., Sangerman Jarquín, Dora Ma., Matus Gardea, Jaime Arturo & Almeraya Quintero, Silvia Xochilt. (2024). El Mercado de arroz en México: ¿qué factores lo determinan? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15 (8). México, Mex. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3566>

Rivera de la Rosa, A. R., Ortiz Pech, R., Araújo Andrade, L. A. & Amílcar Heredia, J. (2015). México y la autosuficiencia alimentaria (sexenio 2006-2012). *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 33-49.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:395

Rubio Vega, B. A. (2011). Crisis mundial y soberanía alimentaria en América Latina. *Revista de Economía Mundial*. 29, 61-87
<https://www.redalyc.org/pdf/866/86622169002.pdf>

SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Primera edición, p. 1-14.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256423/B_sico-Arroz.pdf

Sánchez Cano, J. E., (2014). La política agrícola en México, impactos y retos. *Revista Mexicana de Agronegocios*, (35), 946-956.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14131676004>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (SADER). (2022). Balanza Comercial Agroalimentaria de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691961/Balanza Comercial Agropecuaria y Agroindustrial Nov 2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691961/Balanza_Comercial_Agropecuaria_y_Agroindustrial_Nov_2021.pdf)
- Secretaría de Bienestar. (2025). Programas para el bienestar. <https://programasparaelbienestar.gob.mx/precios-de-garantia/>
- Seo, S. Niggol. (2008a). Assessing Relative Performance of Econometric Models in Measuring the Impact of Climate Change on Agriculture Using Spatial Autoregression. *The Review of Regional Studies*. 38(2), 195–209. [10.52324/001c.8263](https://doi.org/10.52324/001c.8263)
- Seo, S. Niggol., Mendelsohn, R & Munasinghe, M. (2005). Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation. *Environment and Development Economics*, 10, 581–196. <https://doi.org/10.1017/S1355770X05002044>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tomek, W. G., & Kaiser H. M. (2014). *Agricultural Product Prices*. Cornell University Press, Quinta Edición. USA, N.Y.
- Traore, S., Zhang, L., Guven, A., & Fipps, G. (2020). Rice yield response forecasting tool (YIELDCAST) for supporting climate change adaptation decision in Sahel. *Agricultural Water Management*. 239(1). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106242>
- Turrent-Fernández, A., & Cortés-Flores, J. (2005). Ciencia y tecnología en la agricultura mexicana: I. Producción y sostenibilidad. *Terra Latinoamericana*, 23(2), 265-272. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57323214.pdf>

Urquía Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud pública en México*. 56, 592-598.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v56s1/v56s1a14.pdf>

Zagoya-Martínez, J. Aurelio-Saquet, Marcos., Ramírez, A. M., López-Zamora, R. de J., & Hernández-Rodríguez, M. L. (2017). Política de estado y producción de cereales: transformaciones territoriales en Valles Altos de México. *Revista de geografía agraria*, 12 (27), 5-28. DOI: [10.14393/RCT122701](https://doi.org/10.14393/RCT122701)

Zavala Álvarez, J. (2006). Estancamiento y desaliento del desarrollo productivo en la región agrícola del Valle de Mexicali, Baja California: un análisis tendencial. *Estudios fronterizos* 7(18), 63-94.
<http://dx.doi.org/10.21670/ref.2006.13.a04>

3. DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ, CULTIVO CON DEPENDENCIA ALIMENTARIA EN MÉXICO³

Hernández-García, Ana L¹.; Caamal-Cauich, Ignacio^{1*}.; Caamal-Pat, Zulia H¹.; Ávila-Dorantes, José A¹.; Pat-Fernández, Verna G¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, UACH, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5 CP. 56230, Estado de México, México. Contacto: liz.beth92hdz@gmail.com, tel. 5567033421; icaamal@yahoo.com.mx.

*Autor para correspondencia

Resumen

La producción nacional de arroz es insuficiente para abastecer la demanda nacional, un cambio en la siembra de cultivos disminuyó la superficie sembrada arroz. La insuficiencia productiva de arroz se compensa con un nivel alarmante de importaciones. El objetivo es determinar qué factores económicos influyen en la producción nacional de arroz en el periodo 2003 a 2022, para identificar la etapa de la producción de cada factor. La metodología comprende el cálculo de tasas de crecimiento de las variables propuestas y un modelo econométrico lineal múltiple. Los determinantes del modelo de producción son la superficie sembrada, la población económicamente activa del sector agrícola y el uso total de fertilizantes nitrogenados. Los estimadores, producción y la superficie sembrada tienen una relación positiva ($\hat{\beta}_1 = 0.825$); producción y población económicamente activa del sector agrícola una relación positiva ($\hat{\beta}_2 = 1.276$); producción y nitrógeno una relación positiva de ($\hat{\beta}_3 = 0.458$). Se cumple con la relación teórica esperada. Los resultados indican rendimientos marginales crecientes para el factor mano de obra, tiene el mayor impacto en la producción, la superficie sembrada y el uso de nitrógeno presentan rendimientos marginales decrecientes. De manera general con la suma de las elasticidades se observan rendimientos crecientes a escala (2.559). El hallazgo ayuda a diseñar estrategias orientadas en los principales factores de producción.

³Manuscrito enviado a la Revista Agro Productividad (estatus en revisión).

Palabras clave: *Oryza sativa*, modelo econométrico, función de producción, factor de producción, elasticidad.

DETERMINANTS OF RICE PRODUCTION, A FOOD DEPENDENCE CROP IN MEXICO

Hernández-García, Ana L¹.; Caamal-Cauich, Ignacio*¹.; Caamal-Pat, Zulia H¹.; Ávila-Dorantes, José A¹.; Pat-Fernández, Verna G¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, UACH, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5 CP. 56230, Estado de México, México. Contacto: liz.beth92hdz@gmail.com, tel. 5567033421; icaamal@yahoo.com.mx ; gricelpat@yahoo.com.

*Corresponding author

Abstract

National rice production is deficient to meet domestic demand, a shift in crop cultivation has caused a decline in the harvested area of rice. The insufficient rice production is offset by a concerning level of imports. The objective is to identify the economic factors that impact national rice production from 2003 to 2022, and to assess the production stage of each factor. The methodology involves calculating growth rates for the relevant variables and estimating a multiple linear econometric model. The determinants of the production model are the planted area, the economically active population in the agricultural sector, and the total use of nitrogen fertilizers. The estimators indicate a positive relationship between production and planted area ($\hat{\beta}_1 = 0.825$); a positive relationship between the economically active population in the agricultural sector ($\hat{\beta}_2 = 1.276$); and a positive relationship with nitrogen ($\hat{\beta}_3 = 0.458$). The findings support the theoretical expectations. The results indicate increasing marginal returns for the economically active population agriculture, which has the greatest impact on production, while planted area and nitrogen indicate decreasing marginal returns. In general, the sum of the elasticities indicates increasing returns to scale (2.559). This finding helps in designing strategies focused on the main production factors.

Key words: *Oryza sativa*, econometric model, production function, production factor, elasticity.

Introducción

En México la autosuficiencia en la producción de arroz se alcanzó en el año 1988. En años posteriores el arroz experimentó una transformación estructural caracterizada por bajos incentivos productivos (Comisión de Economía, 2022, p.6). Con la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y el proceso de modernización forzada se transformaron las actividades productivas y comerciales de la agricultura mexicana. El acuerdo permitió reorientar la superficie sembrada y mejorar el rendimiento obtenido, dos elementos clave para la toma de decisiones en la agricultura (González, 2001). La expansión del mercado agrícola de productos básicos logró desarrollarse debido a incrementos en la productividad y la especialización local en cultivos estratégicos destinados a la exportación.

En el grupo de cultivos exportados predominan las leguminosas, hortalizas, aguacate, jitomate, pimientos, frutas y ganado bovino (FAO, 2019, p.13). Al agregar las oleaginosas más importantes como algodón, soya y cártamo, los cultivos para alimentar ganado, avena, maíz forrajero y pastos cultivados, sólo treinta productos ocupan el 87% de la superficie cultivable del país.

Los granos como arroz, trigo, maíz amarillo y frijol disminuyeron la producción debido a la falta de competitividad internacional. La prioridad fue la siembra de cultivos para forrajes, legumbres, frutas y hortalizas (SAGARPA, 2017, p. 2). En México resalta la ausencia de hortalizas y frutas dentro de la categoría de cultivos estratégicos, categoría estratégica que mantienen los granos, arroz, trigo, maíz y frijol (FAO, 2019. p.18). Los granos enfrentaron pérdida de prioridad de producción, al grado de posicionarse como importador neto.

De acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable en su artículo 179, la importancia del arroz como cultivo estratégico se debe al objetivo de planeación y organización de la producción agropecuaria para garantizar la seguridad alimentaria, es decir, el abasto oportuno, suficiente e incluyente de alimentación

a la población (Ley De Desarrollo Rural Sustentable, 2021, p.53). La situación pretende atenderse mediante incentivos productivos a productores a través del programa de Precios de Garantía de cultivos básicos.

En consumo per cápita de arroz, de acuerdo con Reyes et al. (2024) es de 8.5 kilos. El obsoleto Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) tuvo la obligación de dirigir la política de desarrollo social para mejorar resultados, garantizar y satisfacer el nivel mínimo de energías y la adquisición de alimentos a un nivel costo eficiente. Dentro de la canasta básica considerada se encuentra el arroz, estas funciones fueron trasladadas al INEGI y continua como un alimento de importancia nacional en la población.

Para dimensionar la importancia de la insuficiencia productiva en 2016 la producción nacional de arroz cubrió únicamente el 21.62% del consumo nacional, es decir, se importó 929 mil 482 toneladas para cubrir la demanda nacional, los principales países proveedores fueron Estados Unidos, Brasil y Uruguay (SAGARPA, 2017, p. 2). En 2021 la importación de arroz alcanzó un millón 18 mil toneladas, el 90% de la demanda interna (CE, 2022, p.6). Situación que agrava la dependencia con el sector externo.

Las inquietudes por garantizar el abasto se remontan a la Cumbre Mundial de la Alimentación de Roma 1996, de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Las recomendaciones hacia los países son garantizar el acceso a mercados de comercialización y la organización de la producción para mitigar la preocupación por la seguridad y la dependencia alimentaria (FAO, 2019).

Seguir el enfoque de FAO en la legislación nacional permite organizar la producción y garantiza el abasto del mercado interno, una posibilidad para dar continuidad social al pequeño y mediano productor en actividades de producción, distribución y comercialización agrícola para el cultivo del arroz. Mejor la producción nacional de arroz hace frente a vulnerabilidades de los mercados

internacionales y evita estragos por alza de precio o por crisis de alimentos que impida el flujo regular de las importaciones (Puyana & Romero, 2004, p.108).

Una desventaja de importar arroz son los requerimientos de gestión en transporte, calidad, disponibilidad y volúmenes. La distancia respecto a los centros de producción, distribución y la disponibilidad de infraestructura determinan en gran medida el origen de los alimentos que consumen los hogares (FAO, 2019, p.22). En México las importaciones provienen principalmente de Estados Unidos, un país que geográficamente tiene ventaja en costos de transporte respecto a otros exportadores. Además de mantener una producción de arroz estimulada por recursos públicos.

De acuerdo con Favilla y Herrera (2023) la dependencia comercial de arroz, junto a los problemas de organización de la producción, dificulta a los productores cultivar arroz y mantener su estructura social mediante subvenciones, esto compromete recursos públicos. La reincorporación de aplicación del programa de Precios de Garantía en 2019 permite mantener la estructura productiva de productores de arroz en algún nivel, pero aún es insuficiente para mitigar las importaciones (Virgilio et al., 2024, p.200).

En cuanto a la importancia geográfica nacional, los principales productores de arroz son Campeche, Nayarit, Tamaulipas, Michoacán, Veracruz, Colima y Morelos. La superficie sembrada en México fue de 40 mil 841 hectáreas y una producción de 257 mil toneladas de arroz (SIAP, 2022). Sin embargo, es insuficiente para satisfacer la demanda nacional, pues solo productores pequeños y medianos reciben el apoyo de Precios de Garantía

El objetivo es estimar los factores económicos que determinan la producción de arroz, para identificar y diseñar estrategias acordes al uso de factores de producción ya que pueden ser la clave para incentivar la producción y mitigar la dependencia.

Materiales y métodos

Para analizar la producción de arroz se usa la metodología utilizada por Pérez et al. (2019), la estimación de una función de producción Cobb Douglas útil a nivel micro y macro para conocer los impactos de los parámetros de producción (Mejía, et al., 2023). Los métodos utilizados contemplan tasas de crecimiento, un modelo de regresión lineal múltiple que vincula la teoría de la producción mediante una función Cobb Douglas para identificar el valor de los parámetros de los factores productivos.

El cálculo de la tasa de crecimiento es un indicador importante de la evolución de una variable en un periodo determinado, la tasa de crecimiento del periodo se expresa en la ecuación uno y la tasa de crecimiento promedio anual se expresa en la ecuación dos:

$$T_{cp} = \left(\left(\frac{VF}{VI} \right) - 1 \right) * 100 \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

$$T_{cpa} = n \sqrt[n]{\left(\left(\frac{VF}{VI} \right) - 1 \right)} \quad \dots \text{Ecuación 2}$$

Mediante la adaptación de la metodología aplicada por Pérez et al. (2018) y Guzmán et al. (2019), se propone un modelo econométrico *log-log* mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), el valor de los parámetros de las variables que influyen en la producción de arroz representa la elasticidad de los factores de la producción y la suma permite identificar la etapa de la producción. El modelo se estimó en el paquete estadístico R-studio, con el fin de contrastar las pruebas del modelo de producción.

Los datos de producción de arroz y superficie sembrada de arroz se recolectaron del Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta (SIACON). La población económicamente activa del sector agrícola se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el uso total de fertilizantes

nitrogenados se obtuvo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), para el periodo 2003 a 2022, con periodicidad anual. Las variables con unidad de medida son:

- Y: producción de arroz, mide la cantidad total de producto que se obtuvo durante el año calendario. La unidad de medida es tonelada (ton).
- SSe: superficie sembrada de arroz, el área de tierra cubierta con semillas durante un año calendario. La unidad de medida es hectáreas (ha).
- PEAA: población económicamente activa del sector agrícola, es el número de habitantes en el país dedicados al sector para el año específico. La unidad de medida son unidades de habitantes.
- N: uso de nitrógeno o uso de fertilizantes por nutriente, uso por superficie de tierras de cultivo fertilizantes nitrogenados. La unidad de medida son kilogramos por hectárea (Kg/ha).

Se propone modelar la producción de arroz en función de la superficie sembrada de arroz, la población económicamente activa en el sector agrícola, como potencial de mano de obra del sector, y el uso total de fertilizantes nitrogenados por nutriente (Ecuación 3). Se propone el modelo de la siguiente forma:

$$IN\hat{Y}_i = IN\hat{\beta}_0 + IN\hat{\beta}_1 SSe_i + IN\hat{\beta}_2 PEAA_i + IN\hat{\beta}_3 N_i + \varepsilon_i \dots \text{Ecuación 3}$$

$\hat{Y}_i$: producción de arroz

$\hat{\beta}_i$: parámetros del modelo o elasticidades de producción

SSe: superficie sembrada

PEAA: población económicamente activa en el sector agrícola

N: fertilizantes nitrogenados

ε_i : error estocástico

La función de producción Cobb-Douglas se muestra en la ecuación cuatro:

$$Y_i = \hat{\beta}_0 Sse_i^{\beta_1} PEA_i^{\beta_2} N_i^{\beta_3} \dots \text{Ecuación 4}$$

De acuerdo con la teoría de la producción, se pretende encontrar las siguientes relaciones:

- La producción de arroz tiene una relación directa con la superficie sembrada de arroz.
- La producción de arroz tiene una relación directa con la dinámica de la población económicamente activa del sector agrícola.
- La producción de arroz tiene una relación directa con el uso de fertilizantes nitrogenados.

Resultados y discusión

El cálculo de la tasa de crecimiento del periodo y la tasa promedio anual se muestra en la Cuadro 1. Se observa una tasa negativa de -9.86% para la producción de arroz y una tasa de crecimiento promedio anual de -0.49. Se observa una tasa de crecimiento negativa para la superficie sembrada de menos -40.67% y una tasa de crecimiento promedio anual de -2.03%. El uso de fertilizantes nitrogenados tiene una tasa positiva de 8.05% y una tasa promedio anual de 0.40%. Para la población económicamente activa del sector primario una tasa de crecimiento positiva de 0.57% y una tasa de crecimiento promedio anual de 0.03%.

Cuadro 1. Tasa de crecimiento del periodo (Tcp) y tasa de crecimiento promedio anual (Tcpa).

Variable / Tasa	Producción (Y)	Superficie sembrada (Sse)	Población (PEAa)	Nitrógeno (N)
Tcp	-9.86%	-40.57%	0.57%	8.05%
Tcpa	-0.49%	-2.03%	0.03%	0.40%

La evaluación estadística muestra significancia en las variables del modelo *log-log* de la función Cobb-Douglas considerando la prueba t-student a un nivel de confianza de 95% en parámetros. El coeficiente de determinación R^2 es de 0.796, el modelo explica hasta en un 79.64% la variación en la producción de arroz. Los resultados se muestran en el Cuadro 2. Se cumple la relación teórica de los signos de los parámetros de las variables explicativas.

Cuadro 2. Parámetros del modelo y significancia.

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor (t)	Prob > t
Intercepto	-18.2837	8.715519	-2.1	0.052
INSse	0.825909	0.107363	7.69	0.000
INNitro	0.458698	0.144882	3.17	0.006
INMO	1.276668	0.536724	2.38	0.030
R^2	0.7964	R^2 Ajustada	0.7582	

La ecuación del modelo de regresión se muestra en la ecuación cinco y seis:

$$\hat{Y}_i = -18.283 + 0.825 Sse_i + 1.276 PEAa_i + 0.4586 N_i + \varepsilon_i \quad \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\hat{Y}_i = -18.283 SSe^{0.825} PEAi^{1.276} N_i^{0.4586} + \varepsilon_i \quad \dots \text{Ecuación 6}$$

Al utilizar logaritmos en la regresión, la estimación de los parámetros permite realizar una evaluación directa de la elasticidad. Se observan los siguientes impactos *ceteris paribus*:

- Cuando incrementa en uno por ciento la superficie sembrada de arroz, se incrementa en 0.835 por ciento la producción de arroz. La producción de arroz tiene rendimientos marginales decrecientes ante cambios en el factor tierra.
- Cuando se incrementa en uno por ciento la población económicamente activa del sector primario se incrementa en 1.276 por ciento la producción de arroz. La producción de arroz tiene rendimientos marginales crecientes frente a cambios en el factor mano de obra.
- Cuando se incrementa en uno por ciento el uso total de fertilizantes nitrogenados se incrementa en 0.458 por ciento la producción de arroz. La producción de arroz tiene rendimientos marginales decrecientes ante cambios en el factor capital.
- La suma de elasticidades identifica la etapa de la producción de arroz. La suma del parámetro $S_{se}=0.835$, $PEA_a=1.276$ y $N=0.458$ es 2.559, se observan rendimientos crecientes a escala.

El Cuadro 3 permite observar la evaluación estadística:

Cuadro 3. Resultados de las pruebas del modelo de producción de arroz.

Prueba	Estadístico	Diagnostico
Jarque Bera	JB=0.50089 p-value = 0.7785	Normalidad en los errores
Shapiro–Wilk	W = 0.96406 p-value= 0.62774	Normalidad en los errores
Breusch-Godfrey	P>=0.3936	Homocedasticidad
Durbin Watson	DW = 1.101 p-value =0.002898	Autocorrelación
Breush Godfrey	LM test = 2.2654 p-value = 0.1323	No hay autocorrelación a un rezago
Breusch-Pagan test	BP = 4.1268 p-value = 0.2481	Homocedasticidad
VIF	INS _{se} =1.85; INPEA _a =1.81; INNitro=1.21	Multicolinealidad Valores<10
Ramsey	RESET = 4.1409 Prob > F = 0.0599	Especificación del modelo

Las pruebas muestran normalidad de los errores mediante la prueba Jarque Bera y Shapiro-Wilk. Presencia de homocedasticidad, la varianza de los errores constante a lo largo del tiempo mediante la prueba Bruesch-Godfrey. Ausencia de autocorrelación de primer orden mediante la prueba LM- test.

Homocedasticidad mediante la estimación de la prueba Breusch Pagan test. Ausencia de multicolinealidad entre las variables independientes mediante la prueba de inflación de la varianza y una correcta especificación del modelo mediante la prueba de Ramsey.

El cálculo de las tasas de crecimiento muestra que la producción de arroz presenta una tendencia negativa dentro del periodo, excepto por la dinámica del rendimiento. El modelo es eficiente utilizando una abstracción de consideraciones generales, muestra una etapa de la producción con rendimientos crecientes a escala. Sin embargo, existen consideraciones importantes estudiadas por diversos autores.

El modelo es congruente con la afirmación de Tomek y Kaiser (2014), las decisiones de producción se rigen por factores estructurales. En el sector agrícola los factores de producción provocan variación de la producción por dos vías: 1) el efecto desplazamiento de la producción asociado a cambios estructurales: tecnología y políticas de gobierno; y 2) el efecto variación de producción en el periodo, asociado a movimiento en los precios relacionados, el clima y la organización de la producción (p.53). En el estudio se observan las dos variaciones.

El efecto desplazamiento se observa en la variación de la tecnología, en función de la superficie sembrada, variable asociada con el rendimiento y desarrollo de las condiciones técnicas del cultivo (semillas, fertilizantes, riego, etc.). El efecto variación se observa en la organización de la producción asociado a la población económicamente activa. El resultado es congruente con la metodología de Pérez et al. (2019) en relación directa entre la superficie en riego y la producción, pero difiere con la PEA del sector agrícola pues encuentra una relación negativa con la producción.

La variable de mayor impacto positivo es la población económicamente activa del sector agrícola, variable que incentiva la producción en general y para el caso del arroz muestra un aumento más que proporcional, una elasticidad de 1.276. Sin embargo, en García et al. (2013) mencionan que la participación del trabajo agrícola tiene una tendencia hacia la baja en la generación de empleo, congruentes con García y Omaña (2001) quien encuentran un efecto composición negativo, con incapacidad de absorción en el empleo agrícola y asocia un carácter extensivo de mano de obra para los cereales.

La superficie sembrada de arroz es la segunda variable con mayor impacto para incrementar la producción con una elasticidad de 0.825, empero existe una diversidad de condiciones de producción. Las zonas para plantar arroz requieren el trasplante bajo riego (en la zona centro y sur del país), la siembra directa bajo riego (en el norte y occidente), y la siembra de temporal (en el sureste), (Favilla & Herrera, 2023). Por características productivas, dada la demanda de recursos hídricos, el cultivo el arroz requiere incorporar tierras tecnificadas con riego, tecnología predominante en la región norte. Sin embargo, la producción de arroz dejó de localizarse en el norte, en Sinaloa de acuerdo con Fiscal et al. (2017):

Derivado de los procesos de apertura de mercados, en 2011 dejó de producirse arroz (*Oryza sativa*) en Sinaloa, debido al precio pues comprarlo en el exterior era más barato. La escasa producción provocó una situación de dependencia total de la importación del grano (p.15).

Además, la superficie sembrada de arroz y trigo de Sinaloa se sustituyó por un incremento de la demanda del maíz para el consumo interno, ya que este cultivo en Sinaloa representa alrededor del 95% de la superficie sembrada de cereales (Fiscal et al., 2017, p. 20). Además, el predominio de cultivar forrajes es una característica de la región norte.

Los resultados concuerdan con Ireta et al. (2016), demuestra que la superficie y el rendimiento son variables determinantes de la producción. Difieren de Rivera et al. (2015); Caicedo et al. (2019) mencionan que la superficie sembrada no

fomenta la expansión de la producción, la producción aumenta debido al rendimiento (p.40). El arroz es el segundo cereal con mayor rendimiento a nivel nacional. Además, la diferencia entre la superficie sembrada y cosechada obedece a patrones climáticos.

En cuanto a la adopción de mejoras tecnológicas, la dinámica de nitrógeno tiene un menor impacto en la producción de arroz, refleja menos de un punto porcentual al incrementar el uso de nitrógeno en la producción agrícola. Aunque el fertilizante es un insumo de impacto positivo en México se caracteriza por importar el 67.1% (Gaucin & Torres, 2011). Según Tosquy et al. (2008) menciona que el uso de fertilizantes nitrogenados incrementa el costo de producción hasta un 27% la producción de arroz.

El uso de fertilizantes nitrogenados tuvo una expansión a partir de la entrada en vigor del TLCAN, derivado del incremento de la agricultura intensiva. Se estima que la expansión de los programas de altos rendimientos promovió un uso excesivo de fertilizantes químicos nitrogenados (González, 2017, p.1743). Sin embargo, el uso en el arroz principalmente en urea y amoníaco anhidro representa un costo elevado para la producción de arroz.

Conclusiones

Se confirma contracción de la producción mediante el cálculo de las tasas de crecimiento y la necesidad comercial de recurrir al mercado internacional. La producción y la superficie sembrada mantienen una tendencia negativa, exceptuando el comportamiento del rendimiento.

Aunque la disminución de la producción es menor respecto a la superficie sembrada, en un escenario de economía abierta la producción de arroz responde positivamente a los factores de producción.

La mano de obra es el parámetro con mayor impacto derivado del efecto latente de la población y ante la escasa generación de empleo en el sector agrícola. En cuanto a la superficie sembrada es importante recordar que es una variable influyente dependiente de insumos como semillas, paquetes tecnológicos, maquinaria y fertilizantes, reportado en el rendimiento agrícola y con requerimientos de especialización agrícola, característicos en la siembra bajo sistemas de riego. Sin embargo, incrementa la demanda de recursos económicos hídricos escasos en la región norte.

Los insumos como el nitrógeno pueden tener efectos positivos en la producción. Sin embargo, al tener dependencia de importaciones de arroz, la efectividad del uso es fundamental ya que con la dependencia de fertilizantes nitrogenados se puede caer en una doble dependencia, pues la mayor parte del insumo utilizado es importado.

Si se utilizan los impactos de los factores productivos para el cultivo de arroz se puede ayudar a mejorar el diseño de apoyos y recurrir a políticas que prioricen el abastecimiento interno de la demanda nacional de arroz. El programa de precio de garantía para pequeños y medianos productores busca estimular el cultivo estratégico y continuar la producción de arroz, empero tiene un tope de cobertura, insuficiente para impulsar la producción al margen de mitigar la vulnerabilidad del mercado internacional.

Literatura citada

- Caicedo-Camposano, O. Díaz-Romero, O. Cadena-Piedrahita, R. & Galarza-Centeno, G. (2019). Diseño de un sistema de producción de arroz sostenible en Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Re-vista Killkana Técnica*. 3(1) 19-24. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i1.472.
- Comisión de Economía. (CE). (2022, 21 de febrero). Dictamen. https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/65/2/2022-11-24-1/assets/documentos/Dict_Com_Economia_PA_Produccion_Nacional.pdf
- FAO. (2019). El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. Ciudad de México. 68 pp. <https://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Favilla Tello, A., & Herrera Corral, M. A., (2023). Competitividad internacional del arroz mexicano: un análisis con base en datos de comercio exterior. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 12(35), 18-31. <https://doi.org/10.36677/recai.v12i35.21268>
- Fiscal, Carlos B., Restrepo, B., Luis Fernando, & Rodríguez, Holmes, E. (2017). Estructura productiva agrícola del Estado de Sinaloa, México, y el Tratado De Libre Comercio de América Del Norte (TLCAN). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 33(1), 14-23. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902017005000102>
- García Salazar, J. A., & Omaña Silvestre, J. M. (2001). Fuentes de crecimiento del empleo en el sector agrícola del norte de Méxi-co. *Frontera norte*, 13(25), 71-93. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722001000100003&lng=es&tlng=es.

- Gaucín, S. D., & Torres, E. (2011). El mercado de los fertilizantes 2011-2012. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (FIRA) Informe. <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/239especial/ca239especial-45.pdf>
- González, E., Rivera, D., & Jované, J. (2018): La importación y los precios en la cadena de producción de arroz durante el período 2001-2014. RIC. 4(2), 62-65. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1822>
- González, Estrada, A., y Camacho, Amador, Maricela. (2017). Emisión De Gases De Efecto Invernadero De La fertilización Nitrogenada En México. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas. 8(8), 1733-45. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.698>.
- González-Estrada, A. (2001). La de campesina descampesinización de México. DICEA. UACH, México.
- Guzmán-Soria, E., De la Garza-Carranza, M. T., García Salazar, J. A., Rebollar, S., & Hernández-Martínez, J. (2019). Análisis económico del mercado de frijol grano en México. Agronomía Mesoamericana 30(1), 131-146. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33760>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI) (2025). <https://www.inegi.org.mx/>
- Ireta-Paredes, A. D. R., Altamirano-Cárdenas, J. R., Ayala-Garay, A. V., Covarrubias-Gutiérrez, I., & Muñoz-Rodríguez, M. (2016). Factores que explican la permanencia de la producción de arroz en Méxi-co. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (15), 2981-2993. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i15.420>.
- Ley de desarrollo Rural Sostenible. (LDRS). (2021, 20 de mayo). DOF. CAPÍTULO XVII. De la Seguridad y Soberanía Alimentaria. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235_030621.pdf

- Mejía-Matute, S. R., Pinos-Luzuriaga, L. G., & Tonon-Ordóñez, L. B. (2023). Función de Producción Cobb-Douglas. Una Revisión Bibliográfica. *Economía Y Negocios*, 14(2), 74–95. <https://doi.org/10.29019/eyn.v14i2.1124>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2022, 16 de enero). Datos: productos agrícolas y ganaderos. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Pérez-Fernández, A., Caamal-Cauich I., Pat-Fernández V.G., Martí-nez-Luis D, & Reza-Salgado J. Análisis de los factores que determinan el crecimiento del sector agrícola de México. (2018). *Agroproductividad*. 11(1),131-135. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/164>
- Pérez-Fernández, A., Caamal-Cauich I., Pat-Fernández V.G., Martí-nez-Luis D, & Reza-Salgado J. (2019). Influencia de adopción de tecnología y la mano de obra en la eficiencia productiva en el sector agrícola de México, 1979-2014. *Acta Universitaria*, (29), 1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1631>
- Puyana, A., & Romero, J. (2004). Evaluación integral de los impactos e instrumentación del capítulo agropecuario del TLCAN. Ciudad de México, México. CEE. EL COLMEX.
- Reyes-Santiago, Ester., Omaña Silvestre, José Miguel., Sangerman Jarquín, Dora Ma., Matus Gardea, Jaime Arturo & Almeraya Quintero, Silvia Xochilt. (2024). El Mercado de arroz en México: ¿qué factores lo determinan? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15 (8). México, Mex. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3566>
- Rivera de la Rosa, A. R., Ortiz Pech, R., Araújo Andrade, L. A. & Amílcar Heredia, J. (2015). México y la autosuficiencia alimentaria (sexenio 2006-2012). *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 33-49. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:395

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 Primera edición, p. 1-14. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256423/B_sico-Arroz.pdf
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. (2022, septiem-bre de 2023). Banco de información. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tomek, W. G., y Kaiser H. M. (2014). Agricultural Product Prices. Cornell University Press, Fifth Edición. Ithaca and London, N.Y
- Tosquy Valle, Oscar H., Vásquez Hernández, Andrés., Esqueda Esquivel, Valentín Alberto, Jácome Maldonado, Sergio Miguel, & Vargas García, Ana Bertha. (2008). Comparación agroeconómica de la fertilización con amoníaco anhidro y urea en arroz temporal. Agricultura técnica en México, 34(4), 387-396. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000400002&lng=es&tlng=es
- Virgilio-León, J., García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., García-Mata, R., & Ramírez-Jaspeado, R. (2023). Efectos de la política de precios de garantía sobre el mercado de arroz en México. Revista fitotecnia mexicana, 46(2), 195-202. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.195>

4. DEPENDENCIA COMERCIAL DE ARROZ EN MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA SEGURIDAD ALIMENTARIA⁴

Hernández-García, Ana L^{1*}; Caamal-Cauich, Ignacio¹; Ávila-Dorantes, José A¹; Pat-Fernández, Verna G¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, UACH, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5 CP. 56230, Estado de México, México. Contacto: liz.beth92hdz@gmail.com, tel. 5567033421; icaamal@yahoo.com.mx ; gricelpat@yahoo.com.

*Autor para correspondencia

Resumen

En México existe una insuficiencia productiva de arroz, de 1980 a 2022 las importaciones incrementaron en 551%. Actualmente, las importaciones de arroz superan el 80% de la demanda nacional, provienen de Estados Unidos, Uruguay y Brasil. El objetivo de la investigación es identificar el estado actual del cultivo, la dependencia comercial, la repercusión en la seguridad alimentaria e identificar el grado de vulnerabilidad por acceso físico. La metodología comprende un análisis gráfico de series de tiempo, construcción de índices de dependencia comercial (DC), índice de balanza comercial relativa (BCR), índice de transabilidad (Tr), índice de grado de apertura exportadora (GE), índice de autosuficiencia alimentaria (IAA) y consumo nacional aparente (CNA). El análisis de las series de tiempo de las importaciones e índice de dependencia comercial muestra una tendencia positiva creciente. El cálculo de índices muestra valores de DC=0.713, un BCR=-0.987, un índice Tr=-0.708, un GE=0.004, un IAA=0.29 y un CNA=846, 318 toneladas. Los índices muestran una dependencia y vulnerabilidad al mercado externo, probable riesgo de acceso físico oportuno y permanente, situación latente en el mercado internacional debido a las crisis y fluctuaciones de mercado.

Palabras clave: *Oriza sativa*, importaciones, índices de comercio, índices de dependencia, autosuficiencia alimentaria.

⁴ Capítulo de libro: Congreso Internacional de Ciencia Política y Economía.

TRADE DEPENDENCE OF RICE IN MEXICO AND ITS RELATION TO FOOD SECURITY

Hernández-García, Ana L^{1*}; Caamal-Cauich, Ignacio¹; Ávila-Dorantes, José A¹; Pat-Fernández, Verna G¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, UACH, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5 CP. 56230, Estado de México, México. Contacto: liz.beth92hdz@gmail.com, tel. 5567033421; icaamal@yahoo.com.mx ; gricelpat@yahoo.com.

*Corresponding author

Abstract

In Mexico, rice production is underserved, from 1980 to 2022 imports increased by 551%. Currently, rice imports account for more than 80% of total consumption of national demand, and come from the United States, Uruguay, and Brazil. The objective of this research is to identify the current state of rice production, trade dependence, the impact on food security, and the degree of vulnerability due to physical access. The methodology includes a graphical time series analysis, construction of trade dependency (DC) indices, a relative trade balance (RTB) indicator, a tradability indicator (Tr), a degree of export openness (DEO) index, a food self-sufficiency (AAI) index and apparent consumption (AC). The time series analysis of imports and the trade dependency index show a positive and increasing trend. The index values were DC = 0.713, BCR = -0.987, Tr = -0.708, GE = 0.004, and IAA = 0.29, while CNA = 846, 318 tons. The indexes indicate a strong dependence on the external market, revealing vulnerability to fluctuations in the international sector and a potential risk regarding consistent and timely physical access, an underlying condition exacerbated by global crises and market volatility

Key words: *Oriza sativa*, imports, trade indicators, dependency indices, food self-sufficiency.

Introducción

El arroz palay es uno de los cuatro principales cereales en México, por su importancia económica es considerado un grano básico para la alimentación de la población. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en México existe una insuficiencia productiva de arroz en el periodo de 1980 a 2022, las importaciones incrementaron en 551% (FAO, 2022). Actualmente, la producción de arroz se concentra en los estados de Campeche, Nayarit, Tamaulipas, Michoacán, Veracruz, Colima y Morelos. Con un total de superficie sembrada de 40 mil 841 hectáreas, una producción de 257 mil toneladas y un rendimiento en riego de 7.1 y en temporal 3.3 ton/ha (SIAP, 2022). El mercado nacional tiene un déficit de abastecimiento de la demanda interna de más del setenta por ciento, 603 mil 659 toneladas importadas de arroz.

En la década de 1980 el cultivo del arroz palay presentó una caída en la superficie cosechada y en la producción. El sector agrícola experimentó una reorientación hacia cultivos de mayor rentabilidad. De acuerdo con Martínez (2013) “el Tratado de Libre Comercio de América del Norte encontró un campo sin armas para enfrentar el mercado internacional agrícola y agudizó los problemas de producción de alimentos, incrementaron las importaciones de granos para abastecer la demanda interna” (p.62).

Según Flores y Schwentesius (2001) “los cambios experimentados pueden ser atribuidos a la pérdida de competitividad del grupo de granos básicos, resultado de la desigualdad de condiciones de los productores nacionales con sus congéneres internacionales” (p.62). Para Puyana y Romero (2004) “el consumo nacional aparente del frijol ganó un punto porcentual mediante importaciones, mientras en trigo, arroz y soya se obtuvo incrementos por encima de diez puntos porcentuales” (p.88).

Para Hernández y Damián (2009) los impactos del TLCAN abarcan aspectos específicos, la producción, el cambio en la estructura productiva y las modificaciones en el patrón de cultivos, atribuyen el cambio de política de precios de garantía hacia apoyos directos al productor como el detonante de la reducción de producción de granos y oleaginosas debido a la falta de competitividad de México respecto a EE. UU. y Canadá.

El sector agrícola es complejo y de menor control respecto a las actividades industriales (Tomek y Kaiser, 2014, p.53). Las decisiones de producción de los agricultores o las decisiones de compra en el mercado internacional se rigen por factores que alteran por dos vías la variación de la producción agrícola:

- I. Un efecto desplazamiento de la producción asociado ante cambios estructurales: como la tecnología, las políticas estructurales de gobierno, etc.
- II. Un efecto variación de producción en el periodo, asociado a variaciones en los precios relacionados, clima y la organización de la producción.

Para la Organización de Naciones Unidas (ONU) y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) un plan que pretende dar solución a 169 metas para 2030, los puntos principales son primero poner fin al hambre, segundo lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, tercero proponer una agricultura sostenible (FAO, 2017).

El objetivo de la investigación es identificar el estado actual del cultivo de arroz, la dependencia comercial y la repercusión en la seguridad alimentaria, para identificar el grado de vulnerabilidad por acceso físico en el mercado internacional.

Marco teórico

En el estudio de la ciencia económica existe la teoría del comercio internacional de David Ricardo, establece que una nación debe especializarse en la producción de un bien donde exista una ventaja comparativa (Krugman, 2012). La ventaja comparativa establece que la producción debe realizarse si existe una abundancia del recurso o insumo necesario para la producción del bien, ya que al especializarse en esa producción existen costos de oportunidad menores respecto a la producción de otros bienes. La ventaja competitiva según Porter (2015) establece que la producción de bienes debe de realizarse en función de los recursos abundantes y de la capacidad de un país para utilizar una nueva tecnología, mejorar los procesos de innovación, etc. Mediante la conjunción de las ventajas, el intercambio comercial internacional tiende a incrementarse entre las naciones, es la teoría de la gravitación comercial.

Para la caracterización del mercado agrícola se utilizan variables reales y nominales que influyen en la determinación de la balanza comercial. A partir de estas variables se puede construir una serie de índices de comercio internacional, un índice es una medida estadística que permite realizar un análisis del comportamiento y situación de una variable en el tiempo.

Conceptualmente la seguridad alimentaria es un estado en el cual todas las personas gozan, en forma oportuna y permanente de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo (FAO, 2017, p. 6). Al aceptar la definición de seguridad alimentaria de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y los compromisos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, México en arroz enfrenta un riesgo de acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias.

Mediante la conceptualización se vincula la teoría del comercio internacional con la caracterización del mercado de arroz en materia de seguridad alimentaria para interpretar el camino hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU en México.

Metodología

La metodología comprende un análisis gráfico de series de tiempo y construcción de índices. En una primera sección se realiza un análisis gráfico de la dinámica de las importaciones, la producción y las exportaciones de arroz en México. En una segunda sección se realiza el cálculo del índice de dependencia comercial (DC), índice de balanza comercial relativa (BCR), índice de transabilidad (Tr), consumo nacional aparente (CNA) índice de grado de apertura exportadora (GE) e índice de autosuficiencia alimentaria (IAA).

Los datos se recolectaron de fuentes nacionales e internacionales. Para la producción de arroz se utilizó el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta SIACON (2022) en un período de 1980 a 2024 con periodicidad anual. Para la cantidad de importaciones y exportaciones se consultó FAOSTAT (2022) de 1980 a 2024 con periodicidad anual, las unidades de medida utilizadas son toneladas anuales:

Producción (Q_{ij}): cantidad de producción nacional.

Exportaciones (X_{ij}): cantidad de producción nacional llevada al extranjero para abasto de mercados internacionales.

Importaciones (M_{ij}): cantidad de producción del extranjero introducida al mercado nacional para abasto de mercados nacionales.

Consumo nacional aparente (CNA): expresa de manera numérica la cantidad de producción necesaria para abastecer el mercado interno. El consumo nacional aparente se calcula de la siguiente manera.

$$CNA = (Q_{ij} + M_{ij}) - X_{ij}$$

M_{ij} : importaciones del producto i en el país j

Q_{ij} : producción doméstica del bien i en el país j

X_{ij} : exportaciones del producto i en el país j

Índice de dependencia comercial (DC): refleja la importancia de las importaciones en el consumo interno. Entre mayor sea el valor del índice existe mayor dependencia del mercado externo y entre menor sea, el mercado interno presenta gran capacidad para abastecer el producto (Caamal, 2017, p. 87). El índice de dependencia comercial es el cociente de las importaciones entre el consumo nacional aparente.

$$DC_{ij} = \frac{M_{ij}}{(Q_{ij} + M_{ij} - X_{ij})}$$

DC_{ij} : grado de penetración de las importaciones del bien i en el país j

Índice de balanza comercial relativa (BCR): se utiliza para identificar la competitividad de los productos que se destinan a la exportación, puede ser interpretado como un índice de ventaja competitiva, señala la ventaja competitiva si el resultado es un valor positivo y si el resultado es negativo, indica desventaja competitiva del producto (Caamal, 2017, p. 81). Si el valor de la operación que se muestra es entre -1 y 0, el país es un importador neto del producto y cuando el valor se encuentra entre 0 y 1, el país tiene ventaja comparativa y se convierte en exportador neto.

$$BCR = \frac{X_{ij} - M_{ij}}{X_{ij} + M_{ij}}$$

Índice de transabilidad (Tr): sirve para medir la relación entre la balanza comercial neta y el consumo aparente del producto en estudio, es la capacidad de un país para generar excedentes netos exportables y con relación al consumo interno. Cuando el índice es positivo existe un exceso de oferta, existe un saldo neto exportable. Por el contrario, si es negativo existe exceso de demanda y una

demanda de importaciones. Refleja la competitividad de las exportaciones en el mercado mundial.

$$Tr_{ij} = \frac{X_{ij} - M_{ij}}{Q_{ij} + M_{ij} - X_{ij}}$$

Índice de grado de apertura exportadora (*GE*): destaca la participación de las exportaciones de un producto sobre el consumo nacional aparente y de esta manera refleja el grado de inserción en un mercado específico.

$$GE_{ij} = \frac{X_{ij}}{Q_{ij} + M_{ij} - X_{ij}}$$

Un índice cercano a cero refleja que el sector es menos competitivo ya que gran parte de la producción se orienta al mercado interno. Un índice de uno o superior indica que se produce lo suficiente para cubrir la demanda interna aparente y competir en el sector exterior a través de las exportaciones.

Índice de autosuficiencia alimentaria (*IAA*): muestra las necesidades alimenticias de una población, país o región, si son cubiertas y satisfechas mediante la producción agroalimentaria local (Martínez-Salvador, 2016).

$$IAA_{ij} = \frac{Q_{ij}}{(Q_{ij} + M_{ij})}$$

Los valores cercanos a uno expresan mayor capacidad local de cubrir el mercado, valores cercanos a cero expresan la dependencia de las importaciones.

Resultados relevantes

Los principales proveedores de arroz a México son Estados Unidos de América, Brasil, Uruguay y Argentina. La Figura 1, permite visualizar el nivel de importaciones para el año 2022.

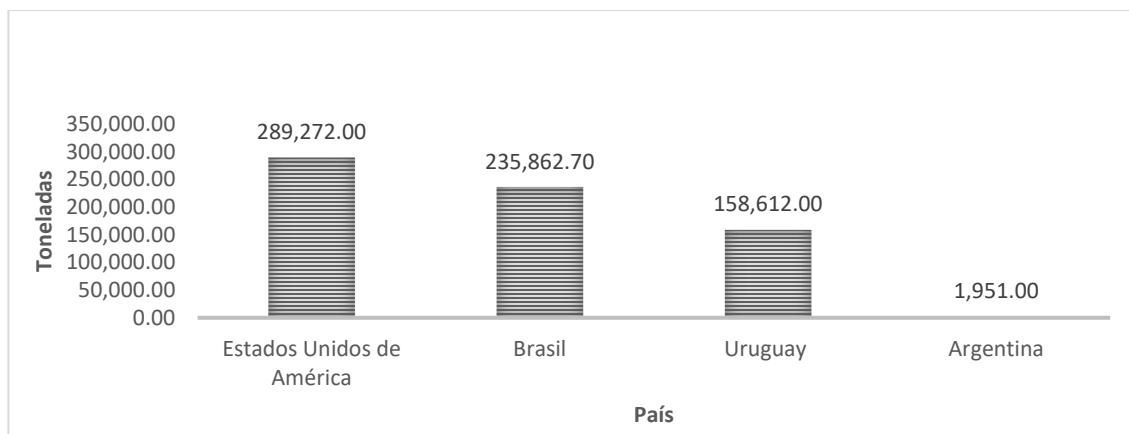


Figura 1. Importaciones de arroz en México, 2022.

En cuanto a los destinos comerciales de arroz, México exporta principalmente a países como Cuba con 50 toneladas, Estados Unidos de América 3 mil 608 toneladas y Emiratos Árabes Unidos (FAOSTAT, 2022). La calidad del arroz que exporta se caracteriza por ser arroz integral, un arroz de grano largo que tiene denominación de origen.

La Figura 2 muestra la dinámica de las series de tiempo de las importaciones, las exportaciones y la producción. Se observan ciclos pequeños para la dinámica de la producción y de las importaciones. No se muestra estacionalidad para ninguna de las series. Carece de cambios abruptos en la dinámica de las variables y valores atípicos. Se observa una tendencia positiva creciente para las importaciones con un máximo en 2019 y una disminución en los últimos 5 años. La producción muestra una tendencia negativa, un punto máximo para el año 1985 con 804 mil toneladas. Una recuperación para el periodo 2015 a 2021 y continua la tendencia negativa hasta el 2022. El nivel de exportaciones mantiene escasa participación, se observan datos positivos máximos para el año 2018 con 108 mil 771 toneladas.

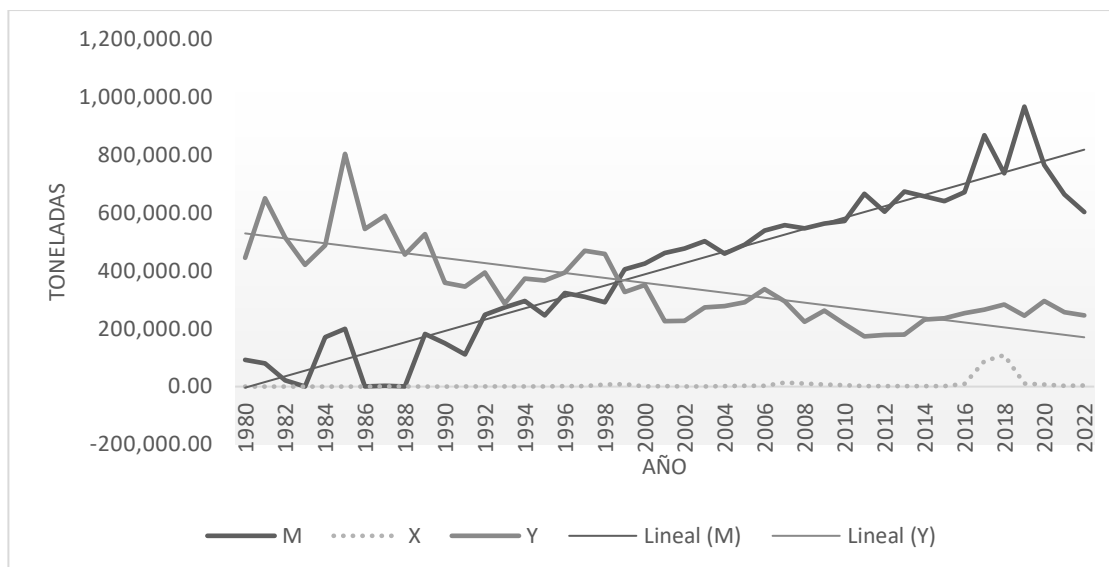


Figura 2. Dinámica del mercado nacional e internacional del arroz: producción (Y), importaciones (M) y exportaciones (X) para el periodo 1980 a 2022.

La Figura 3 muestra la dinámica del consumo nacional aparente para el periodo 1980 a 2022. Es la aproximación de la demanda efectiva de arroz para el periodo. Se observa una tendencia positiva estacionalidad de 1994, un nivel máximo en 2020. Presenta ciclos relativamente cortos de 1980 a 1996, posteriormente carece de estacionalidad y valores atípicos.

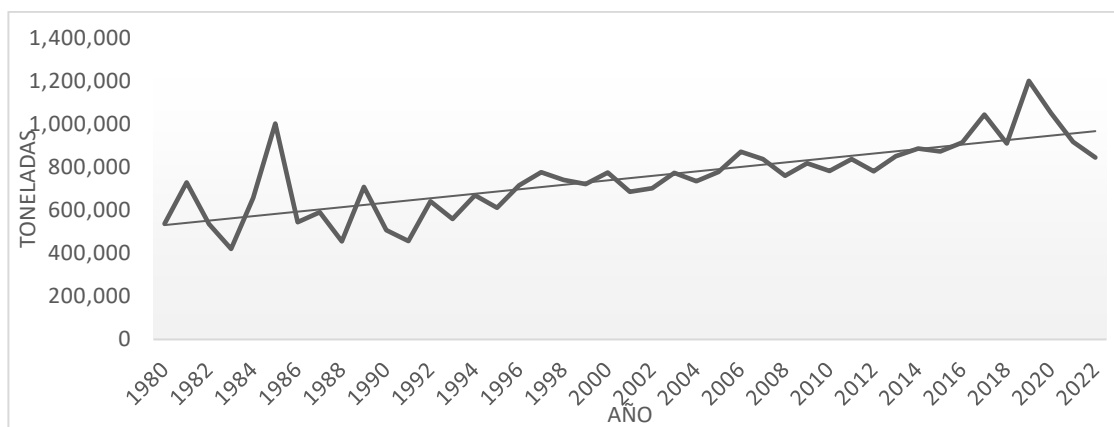


Figura 3. Dinámica del consumo nacional aparente.

La Figura 4 muestra el índice de dependencia comercial de arroz, se observa un nivel mínimo para el año 1983, 1986 a 1988. Se incrementa hasta 1993,

disminuye de 1994 a 1998 para volver a incrementar hasta 2017 con un valor máximo de 0.83, continua con valores de 0.7. El índice manifiesta una pérdida de competitividad de la cadena productiva de arroz y el peligro que enfrenta puede desaparecer. El índice de autosuficiencia alimentaria presenta una tendencia negativa, un valor máximo para el año 1983, 1986 a 1988, para continuar con una disminución hasta 2019.

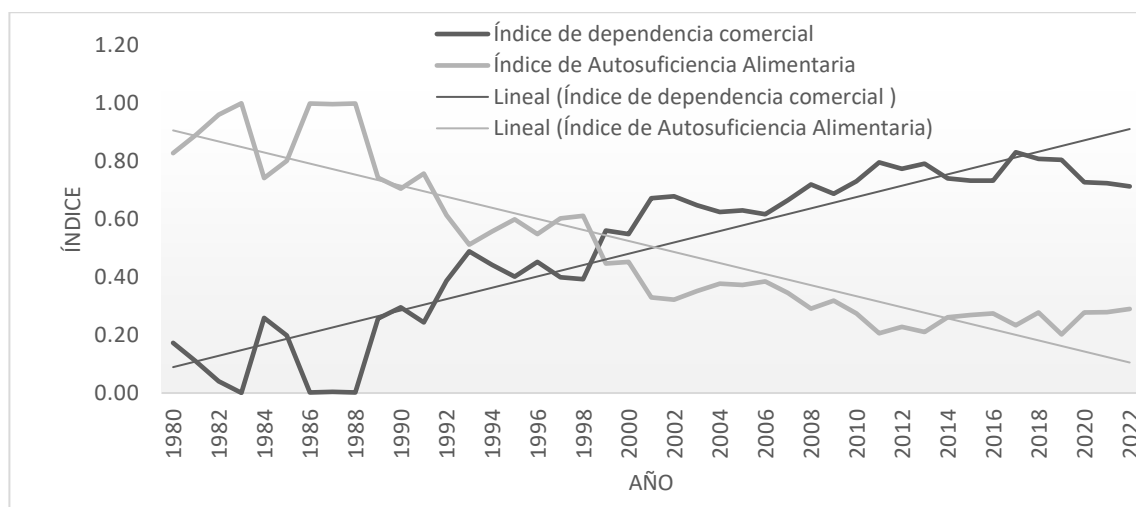


Figura 4. Coeficiente de dependencia comercial de arroz en México e índice de autosuficiencia alimentaria.

La Figura 5 muestra la dinámica del índice de transabilidad (Tr), índice de grado de apertura comercial (GE) e índice de balanza comercial relativa (BCR). Para el índice de grado de apertura exportadora y para el índice de balanza comercial relativa se observa una inexistencia de tendencia. Se observa valores atípicos para el índice de grado de apertura para el año 2017 y 2018, resultado de un valor atípico en el nivel de exportaciones de 108 mil toneladas. Para el índice de balanza comercial relativa se observan valores atípicos para el periodo 1987, 1988, 2017 y 2018, resultado de la dinámica de las exportaciones. El índice de transabilidad se observa valores negativos y una tendencia negativa.

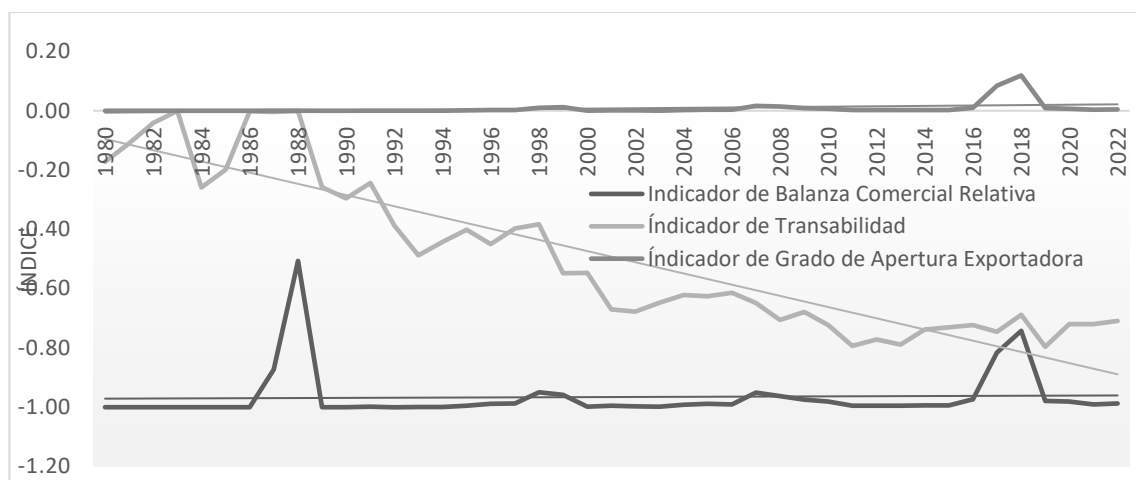


Figura 5. Dinámica de índices de comercio internacional para el arroz 1980-2022.

De acuerdo con los cálculos coyunturales el Cuadro 1 permite observar los valores para el año 2022.

Cuadro 1. Indicadores coyunturales para el año 2022.

Año	CNA	DC	BCR	T	GE	IAA
2022	846,318	0.71	-0.99	-0.71	0.00	0.29

El consumo nacional aparente al ser una aproximación de la demanda interna obtuvo un valor de 846 mil 318 toneladas para el año 2022, destaca la participación de las importaciones con más de 600 mil toneladas. El índice de dependencia comercial de 0.713 refleja la dependencia comercial de las importaciones de arroz, dependencia de países como Estados Unidos y Brasil. El índice de ventaja comparativa revelada con un valor de -0.99 refleja la nula competitividad del cultivo en el mercado externo, coloca a México como un importador neto.

El índice de transabilidad muestra que no existe una capacidad para crear excedentes en el cultivo del arroz al obtener un valor de -0.71. México enfrenta un exceso de demanda de arroz, la incapacidad de abastecer mediante la producción local recurre a las importaciones.

El índice de grado de apertura exportadora tiene un valor de 0, las exportaciones de arroz no son competitivas, ya que gran parte de la producción se orienta al mercado interno manifiesta la imposibilidad de enviar excedentes al mercado internacional.

En cuanto al índice de autosuficiencia alimentaria se obtuvo un valor de 0.29, manifiesta la escasa participación de la producción local. Únicamente cubre el 29% de la demanda nacional, lo cual confirma la condición de dependencia comercial de arroz en el mercado internacional. En términos de acceso físico México enfrenta un problema de desabastecimiento nacional de arroz. El nivel de importaciones de arroz supera el 70% de la demanda interna.

La seguridad alimentaria en un contexto de economía abierta hace referencia a condiciones de producción que permitan abastecer la demanda interna mediante producción nacional. La dependencia alimentaria es la situación donde una nación depende de la importación de alimentos para satisfacer una parte considerable del abasto de la demanda interna, compromete recursos financieros y se expone a la volatilidad del mercado internacional.

La vulnerabilidad y el riesgo aumentan y son susceptibles a los efectos dañinos de factores físicos, sociales, económicos y ambientales. De acuerdo con Rubio (2011) la evolución de los mercados agrícolas apoyada en la productividad y la especialización de cultivos estratégicos para la exportación enfrentan una volatilidad elevada en el mercado internacional. La dependencia de alimentos se convirtió en un tema de interés a partir de las recurrentes crisis financiera, energética y alimentaria de 2008 aunado a los estragos de los mercados con la reciente crisis sanitaria de COVID-2019.

Conclusiones

Los índices comprueban una dependencia del mercado externo, nula competitividad en el cultivo del arroz y una elevada vulnerabilidad en el mercado.

Se identifica una situación latente de riesgo de acceso debido a las recurrentes crisis y fluctuaciones de mercado.

En México, el arroz demuestra que la teoría del comercio internacional y la especialización incrementa los flujos comerciales, pero con una relación de dependencia, esto compromete uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 en el cultivo de arroz.

En un contexto de competencia internacional donde los mercados agrícolas se caracterizan por el predominio de un elevado nivel de eficiencia de insumos, productos de mayor calidad y mejora continua de los procesos agrícolas, recurrir a estrategias de política que reconsideren cultivos de importancia nacional y para el sector agrícola mexicano es impostergable, más si alguna vez se alcanzó la autosuficiencia alimentaria.

Literatura citada

- Caamal, I., Pat, V., Jerónimo, F., Álvarez, X., Deviana, F., & Ramos, J. (2017). *Contexto económico y competitividad en el mercado mundial del limón persa de México*. Estado de México, México. UACH.
- Datos Estadísticos de la FAO. (FAOSTAT). (2022, 20 de mayo). *Estadísticas de producción de arroz por país*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- FAO. (2017). *Seguridad Alimentaria y Nutricional. Conceptos básicos*. Programa especial para la seguridad alimentaria, PESA Centroamérica. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/en/>
- Flores, V. & Schwentesius, R. (2001), Razones para renegociar el TLCAN en el sector de granos y oleaginosas de México. En *Estrategias para el cambio en el campo mexicano*. Coordinadores Gómez, M y Schwentesius, R. Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y Agricultura Mundial. (87-111). CIESTAAM. México.
- Hernández, J., & Damián, M. (2009). Efecto del cambio de precios de garantía a PROCAMPO en precios del productor, sin incluir efecto de importaciones. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2). 153-159. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000200011
- Hernández-Pérez, Juan L. (2021). La agricultura mexicana del TLCAN al TMEC: consideraciones teóricas, balance general y perspectivas de desarrollo. *El trimestre económico*. 88(352), 121-1152. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i352.1274>.

- Krugman, P., Obstfeld, M., & Melitz, M. (2012). *Economía internacional, teoría y política*. Madrid, España. Pearson.
- Martínez-Salvador, Laura Elena. (2013). Modelo econométrico para el volumen de producción de maíz en cultivo de riego (1980-2011). *Tiempo Económico*, 23(8), 61-80. UAM-A. Recuperado de <http://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/08/23te5.pdf>
- Martínez-Salvador, Laura Elena. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas del desarrollo*, 47(186), 107-132.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362016000300107&lng=es&tlng=es
- Porter, M. (2015). *Ventaja competitiva*. Ed. Patria. Segunda Edición. México, CDMX.
- Puyana, A., & Romero, J. (2004). *Evaluación integral de los impactos e instrumentación del capítulo agropecuario del TLCAN*. Ciudad de México, México. CEE. EL COLMEX.
- Rubio-Vega, Blanca A. (2011). Crisis mundial y soberanía alimentaria en América Latina. *Revista de Economía Mundial*. 29, pp. 61-87
<https://www.redalyc.org/pdf/866/86622169002.pdf>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2024, 10 de septiembre). <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Tomek, W. G., & Kaiser H. M. (2014). *Agricultural Product Prices*. Cornell University Press, Fifth Edición. Ithaca and London, N.Y.

5. IMPACTO DEL CLIMA EN EL SECTOR AGRÍCOLA MEXICANO, EL CASO DEL RENDIMIENTO DE ARROZ⁵

Hernández-García, Ana L¹.; Caamal-Cauich, Ignacio^{1*}.; Caamal-Pat, Zulia H¹.; Ávila-Dorantes, José A¹.; Pat-Fernández, Verna G¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, UACH, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5 CP. 56230, Estado de México, México. Contacto: liz.beth92hdz@gmail.com, tel. 5567033421; icaamal@yahoo.com.mx ; gricelpat@yahoo.com.

*Autor para correspondencia

Resumen

El sector agrícola mexicano es susceptible al clima, de acuerdo con la localización geográfica afecta la productividad, una medida que se reporta a través del rendimiento agrícola. El arroz es un cultivo altamente dependiente de agua. El objetivo es identificar el impacto de las variables climáticas en el rendimiento nacional de arroz en la modalidad de riego, temporal y total. La metodología es un modelo log-log de regresión lineal múltiple combinando el análisis económico con ambiental. El análisis se realiza para el periodo 2003 a 2022 con periodicidad anual, se incorpora la temperatura, índice de siniestro, índice de desviación de la precipitación (sequía), precipitación y mano de obra. Los resultados en rendimiento de temporal muestran que la temperatura tiene un coeficiente de 4.52, el índice de desviación de la precipitación un -0.03 (indica sequía) e índice de siniestro un -0.153 . En rendimiento de riego la temperatura tiene un coeficiente de 0.93, la precipitación -0.175 y la mano de obra agrícola 0.65. En rendimiento total la temperatura tiene un coeficiente de 5.31, el índice de siniestro -0.119 y mano de obra 1.31. La producción de arroz responde a variaciones climáticas. El rendimiento total escapa a la dependencia de recursos hídricos, se concentra en la importancia de la temperatura e índice de siniestro.

Palabras clave: *Oryza sativa*, rendimiento, temperatura, precipitación, índice de sequía, índice de siniestro.

⁵ Manuscrito enviado a la Revista Acta Universitaria (estatus en revisión).

IMPACT OF CLIMATE ON THE MEXICAN AGRICULTURAL SECTOR: THE CASE OF RICE YIELDS

Hernández-García, Ana L¹.; Caamal-Cauich, Ignacio.^{1*}; Caamal-Pat, Zulia H¹.; Ávila-Dorantes, José A¹.; Pat-Fernández, Verna G¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, UACH, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5 CP. 56230, Estado de México, México. Contacto: liz.beth92hdz@gmail.com, tel. 5567033421; icaamal@yahoo.com.mx ; gricelpat@yahoo.com.

* Corresponding author

Abstract

The Mexican agricultural sector is highly susceptible to climatic conditions. These factors directly affect productivity, which is commonly measured through agricultural yields. Rice (*Oryza sativa*) is a crop that is particularly dependent on water availability. The objective of this study is to identify the impact of climatic variables on national rice yields under irrigated, rainfed, and total production systems. The methodology is based on a log-log multiple linear regression model, combining economic and environmental analysis. The study covers the period 2003–2022 with annual frequency and incorporates variables such as temperature, disaster index, precipitation deviation index (as a proxy for drought), total precipitation, and agricultural labor. Results for rainfed yields indicate that temperature has a coefficient of 4.52, the precipitation deviation index is –0.03 (signifying drought conditions), and the disaster index is –0.153. For irrigated yields, temperature has a coefficient of 0.93, precipitation is –0.175, and agricultural labor 0.65. In the case of total yields, the estimated coefficients are 5.31 for temperature, –0.119 for the disaster index, and 1.31 for labor. Overall, rice production in Mexico responds significantly to climatic variations. Total yield appears less dependent on water resources and is strongly influenced by temperature and the disaster index, underscoring the sector's sensitivity to climatic and environmental stressors.

Key words: *Oryza sativa*, yield, temperature, precipitation, drought index, disaster index.

Introducción

La innovación tecnológica del sector agrícola es la clave para incrementar la producción de alimentos, responde a la creciente demanda de alimentos, de acuerdo con la FAO (2022) el sector enfrenta nuevos retos en términos de impacto ambiental como sequía, variabilidad en la precipitación estacional, incremento de la temperatura, deforestación y contaminación de suelos. De acuerdo con Adams (1989), el clima es uno de los principales determinantes de la productividad agrícola. En México el rendimiento es una medida de productividad reportada institucionalmente, depende en gran medida del desarrollo tecnológico y es susceptible a variables climáticas como temperatura y precipitación.

De acuerdo con Ocampo (2011) las variables climáticas presentan sustento científico y son capaces de influir en las decisiones de producción, pues afectan las medidas de productividad. La tierra y el agua, dos insumos escasos en la agricultura, presentan susceptibilidad climática, la incorporación de paquetes tecnológicos en la superficie sembrada incrementa la productividad mitigando afecciones por escases de agua, incremento de temperatura, etc.

Autores como Kumar y Parikh, (2001); Kurukulasuriya et al. (2006); Mendelsohn, Nordhaus, y Shaw (1994); Reinsborough, (2001); Seo et al. (2005); estudian la influencia del clima en la agricultura. Divergen las relaciones encontradas entre las variables, temperatura y precipitación, pero de manera general encuentran una relación positiva con el rendimiento físico o rendimiento nominal (valor de la producción agrícola).

La precipitación guarda una estrecha relación con la sequía. La zona con mayor sequía se encuentra en la Zona Norte y el Bajío en estados como Durango, Chihuahua y Coahuila, en menor medida se presenta en Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes y Guanajuato (CNPd, 2018). De acuerdo con García Amaro (2003):

La parte norte de la Altiplanicie es una zona enorme de escasa precipitación, su aridez se debe a su situación con respecto a la faja subtropical de alta presión y a la orientación general de las sierras que la limitan y aíslan de los mares. Las precipitaciones se concentran en la región sur. La precipitación es más abundante, en general, del lado del Golfo que del lado del Pacífico (p.71).

La región con mayor temperatura se observa en la región noroeste, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y partes de Chihuahua y Durango. Mientras que se observa temperatura media cálida y clima húmedo en la zona sur: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

Respecto al desarrollo tecnológico, el sector agrícola enfrentó una transformación estructural (Martínez-Salvador, 2013). La incorporación del tratado de libre comercio en 1994 prometió ser la clave para la expansión del sector agrícola. La apertura comercial crearía un incremento de la productividad agrícola manifiesta en la competencia del sector y derivada del acceso a una innovación tecnológica (Delgadillo & Leos, 2021). En superficie cosechada, se observa una relativa continuidad de la participación de hectáreas en el periodo, pero con un nuevo patrón de cultivos donde el algodón, cártamo, amaranto, arroz, etc., dejan de tener relevancia para el sector.

La producción se concentró en productos para la exportación caracterizados por acceso a uso de riego, medida tecnológica que busca mitigar la vulnerabilidad y dependencia de precipitaciones. La zona norte de la república mexicana se benefició y logro expandir el uso de riego tecnificado por goteo y aspersor (Reyes et al., 2024). La producción se orientó hacia el cultivo como maíz blanco, tomate, jitomate, chile, frutos rojos, algunos cultivos resistentes a climas áridos o controlados en invernaderos.

En nivel de ingreso la participación porcentual de PIB agrícola se mantiene en los niveles originales de 3%, por superficie cosechada se observa una participación con escasa variabilidad 13 a 14 millones de hectáreas. Por superficie de tierras

equipada para riego se observa un incremento de la participación de 23.3 % a 33.3 % (véase Cuadro 1). El sector primario trimestral ronda el intervalo de 4.5 % a 2.5 % del PIB total para el periodo de 1990 a 2023 (SIACON, 2024).

Cuadro 1. Sector agrícola en México.

Año	PIB Agrícola	Superficie Cosechada (Millones de Ha)	Superficie de tierras equipada para riego (%)
1990	3.75%	14.81	23.54
1991	3.69%	13.95	23.49
1992	3.49%	13.24	24.64
1993	3.57%	13.25	24.70
1994	3.41%	14.58	24.76
1995	3.67%	14.69	24.82
1996	3.58%	15.65	24.78
1997	3.34%	14.14	24.84
1998	3.25%	15.65	24.80
1999	3.20%	14.24	24.81
2000	3.09%	13.89	24.82
2001	3.26%	15.07	24.57
2002	3.23%	14.19	24.51
2003	3.31%	14.99	24.52
2004	3.28%	14.81	24.38
2005	3.11%	13.13	24.32
2006	3.14%	14.47	24.26
2007	3.21%	14.37	24.29
2008	3.21%	14.74	24.66
2009	3.33%	12.89	25.07
2010	3.25%	14.48	25.33
2011	3.06%	12.24	25.59
2012	3.14%	14.64	25.78
2013	3.20%	14.64	26.22
2014	3.22%	15.10	26.67
2015	3.20%	14.72	27.02
2016	3.23%	15.02	27.69
2017	3.28%	14.67	29.71
2018	3.29%	14.21	31.21
2019	3.31%	13.17	33.00
2020	3.69%	14.02	31.94
2021	3.54%	14.15	31.90
2022	3.46%	13.55	33.33
2023	3.42%	13.46	--

Fuente: SIAP (2022) y FAOSTAT (2022).

La Figura 1 muestra la participación promedio anual del sector primario, se observa un porcentaje máximo de 3.75 % en 1990, un valor mínimo en 2000 con 3.09 % y en 2011 con 3.06 %.

La superficie cosechada disminuyó de 1990 a 1993, 13.25 millones de hectáreas, tuvo una recuperación de 1994 a 1996, año donde presenta su nivel máximo de 15.65 millones de hectáreas. De 1997 a 2011 se observa una tendencia negativa con una fluctuación entre 15.65 a 12.24 millones, con caídas pronunciadas en el año 2000, 2005, 2009. Para 2012 a 2016 hay una recuperación a 15.02 millones de hectáreas y una caída hasta 2019 con 13.17 millones. Una recuperación de 2020 a 2021 durante pandemia, una caída de 2022 a 2023 y finalmente una ligera recuperación en 2024 con 13.97 millones (véase Figura 2).

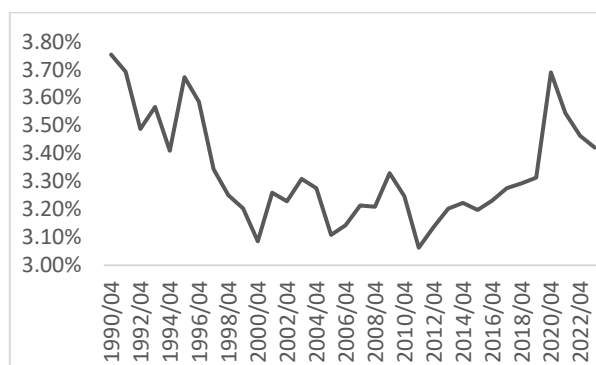


Figura 1. Porcentaje de participación del sector agrícola en el producto interno bruto total, 1990 a 2023.

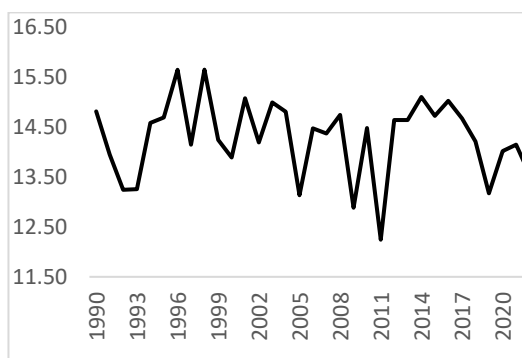


Figura 2. Dinámica de la superficie cosechada en México 1990 a 2023.

En cuanto a tecnología, el uso de riego incremento de 23.49 a 33.3 % en el periodo. Se observa escaso incremento de 1992 a 2007 con 24.29 %. Posteriormente, una tendencia positiva de 2008 a 2022 (véase Figura 3). En cuanto a superficie de temporal se observa una tendencia negativa en el intervalo de 11.33 a 9 millones de hectáreas (véase Figura 4).



Figura 3. Superficie de tierras equipada para agricultura de riego 1990 a 2023.

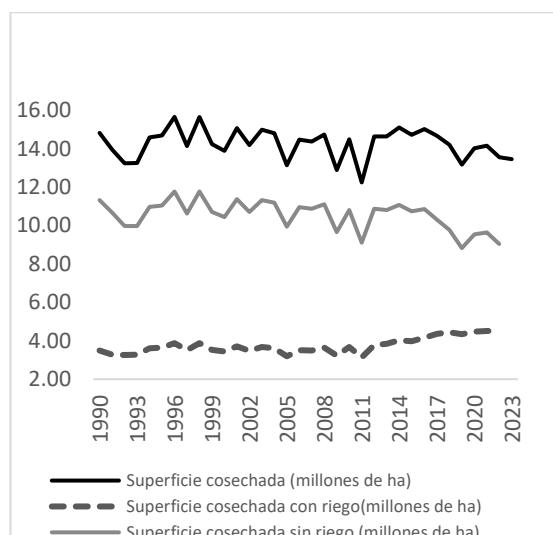


Figura 4. Superficie cosechada riego y temporal.

El Cuadro 2 muestra el rendimiento en riego y temporal de los cereales menos representativos por volumen de producción. Se observa un mayor rendimiento en arroz, triticale, avena, soya y amaranto. En la modalidad de temporal se observa un mayor rendimiento para triticale, arroz, centeno, amaranto, avena y soya.

Cuadro 2. Rendimiento de los cereales en México.

Cereales	Rendimiento en riego (Ton/Ha)	Rendimiento en temporal (Ton/Ha)
Arroz	7.1	3.3
Amaranto	2.5	1.8
Avena	2.9	1.6
Centeno	0.0	1.9
Soya	2.7	1.4
Triticale	5.2	4.0

Por volumen de producción el Cuadro 3 muestra que el maíz blanco ocupa la mayor participación de la producción de cereales en México, continúa trigo, arroz, soya, avena, centeno y triticale.

Cuadro 3. Cereales en México, volumen de producción respecto al total de cereales.

Cereales	Producción (Ton)	Porcentaje de participación
Arroz	246,317.5	0.80 %
Amaranto	5,720.9	0.02 %
Avena	106,439.8	0.35 %
Centeno	9.4	0.00 %
Maíz	26,553,239.3	86.44 %
Soya	175,544.5	0.57 %
Trigo	3,610,847.4	11.75 %
Triticale	20,404.3	0.07 %
total	30,718,523.0	100 %

El Cuadro 4 muestra el valor de la producción de cereales. El maíz es el cereal con mayor valor, 172 mil millones, después el trigo con 29 mil millones, en la soya con 1,658 millones y el arroz con 1,476 millones de pesos. El maíz tiene mayor valor de la producción respecto del total, aporta un 84 %, el trigo el segundo con el 14 %, la soya y el arroz con cerca del 1 %.

Cuadro 4. Valor de la producción de cereales en México, 2023.

Grano	Valor de la producción (millones de pesos)	Valor de la producción (% del total)
Arroz	1,476.19	0.72%
Amaranto	59.32	0.03%
Avena	665.88	0.32%
Centeno	0.04	0.00%
Maíz	172,103.05	83.80%
Soya	1,658.50	0.81%
Trigo	29,329.37	14.28%
Triticale	91.46	0.04%
total	205,383.81	100.00%

De manera general se observa la participación de los cereales en el sector agrícola, se observa una transformación técnica manifiesta en el incremento de riego, concentración de la producción en maíz y escasa participación de trigo y

arroz. Sin embargo, se observa un favorable rendimiento para la producción de arroz.

El sector agrícola depende de factores físicos, sociales, económicos y ambientales. El arroz tiene una fuerte demanda de agua, factor productivo de suma importancia con dificultades de escasez, suministro y acceso.

En términos institucionales fortalecer la política de subsidio a la producción de arroz puede ser cuestionable, pretende dar continuidad a las prácticas tradicionales de producción, pero en términos socioeconómicos es necesario identificar su viabilidad. El arroz sólo representa el 0.8 % de producción de cereales, tiene un elevado rendimiento por riego (7.1 ton/ha), el segundo en rendimiento de temporal (3.3 ton/ha) y es el cereal con mayor nivel de importación.

El objetivo es identificar a partir del análisis económico y ambiental los determinantes del rendimiento de arroz, utilizando variables como superficie siniestrada, precipitación y mano de obra, para identificar la sensibilidad a factores climáticos e identificar la viabilidad.

Materiales y métodos

El análisis de impacto ambiental dentro del sector agrícola conduce a la revisión del comportamiento de diversas variables de carácter geográfico, climático y socioeconómico.

Para el análisis de la producción agrícola se usa la metodología de la FAO (1994) el efecto superficie y el efecto rendimiento. El efecto superficie está orientado a la introducción de semillas mejoradas o paquetes tecnológicos en áreas arroceras, mientras el efecto rendimiento es resultado de paquetes tecnológicos en regiones clave (Irita et al., 2016). Una manera de incorporar la cuestión

ambiental en el análisis de la producción es utilizar el modelo de regresión lineal mediante el índice de precipitación modificado de Prieto et al. (2019) e índice de siniestro. Retomando una ecuación se permite construir un índice de siniestro de la superficie sembrada, se puede construir un índice de siniestro como:

$$ISSit = \left(\frac{SSi}{SSm} \right) \times 100$$

Donde:

ISSit: Índice de siniestro de la superficie

SSm: Superficie sembrada promedio

SSi: Superficie siniestrada

Para el cálculo de sequía se eligió aplicar el índice de sequía DP, se obtiene mediante la desviación de la precipitación con respecto a la media, el cual se calculó para cada año con la siguiente ecuación:

$$Dpi = \left(\frac{Pi - Pm}{Pm} \right) \times 100$$

Donde:

Dpi: Índice de sequía desviación de la precipitación

Pi: Precipitación observada por ciclo

Pm: Promedio de las precipitaciones observadas

Para la estimación del rendimiento de arroz se propone un modelo log-log de regresión lineal múltiple en función del uso de tecnología (uso de fertilizantes, maquinaria), temperatura media, precipitación media, índice de siniestro, índice de sequía y la variable socioeconómica mano de obra. Se propone el modelo de la siguiente forma:

$$\widehat{RA} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 T_i + IN \hat{\beta}_2 Tem_i + \hat{\beta}_3 PRECI + \hat{\beta}_4 ISS + \hat{\beta}_5 Dp + \hat{\beta}_6 MO \varepsilon_i$$

Donde:

$\widehat{RA}$: rendimiento de arroz

T : Tecnología

MO : Mano de obra

$Prec$: precipitación en el sector agrícola

Tem : Temperatura media

ISS : Índice de siniestro superficie

Dp : Índice de sequía o desviación de la precipitación

ε_i : error estocástico.

Los datos de las variables se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). Del Sistema de información Agroalimentaria y de Consulta (SIACON) se obtuvo el rendimiento y la superficie siniestrada. Se analiza el periodo 2003 a 2022 con periodicidad anual. El modelo se calcula en el programa estadístico Stata 14. Se estima para tres casos, rendimiento en temporal, rendimiento en riego y el rendimiento total. Se pretenden encontrar las siguientes relaciones:

- Una relación positiva entre el rendimiento y la temperatura.
- Una relación negativa entre el rendimiento e índice de siniestro de la superficie sembrada.
- Una relación positiva entre el rendimiento y la precipitación.
- Una relación negativa entre el rendimiento e índice de sequía.
- Una relación positiva entre el rendimiento y la mano de obra del sector agrícola.

Resultados y discusión

La Figura 5 muestra el índice de superficie siniestrada e índice de desviación de la precipitación. Se observa un mayor nivel de siniestro en el período 2003 a 2010, una disminución en la superficie siniestrada de arroz. El índice de sequía o tiene valores atípicos, indican desviaciones respecto a condiciones normales, principalmente en 2009, 2011, 2016 y 2020 años con ausencia de precipitación.

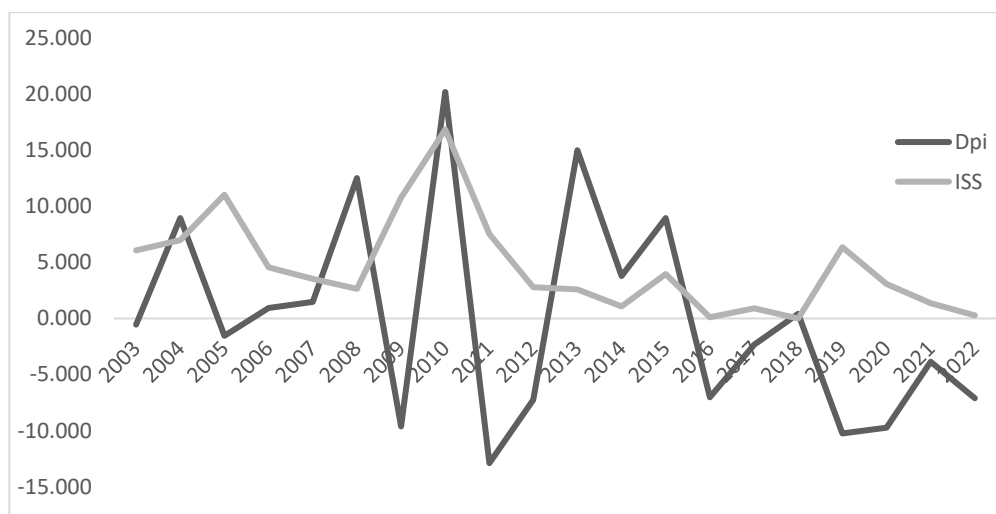


Figura 5. Índice de superficie siniestrada de arroz e índice de precipitación media.

La dinámica de la producción se aprecia en la Figura 6. Los principales estados productores de arroz bajo riego en México son Nayarit, Campeche, Michoacán, Veracruz y Colima. Los estados con mayor producción de arroz de temporal son Nayarit, Campeche, Veracruz, Michoacán y Morelos.

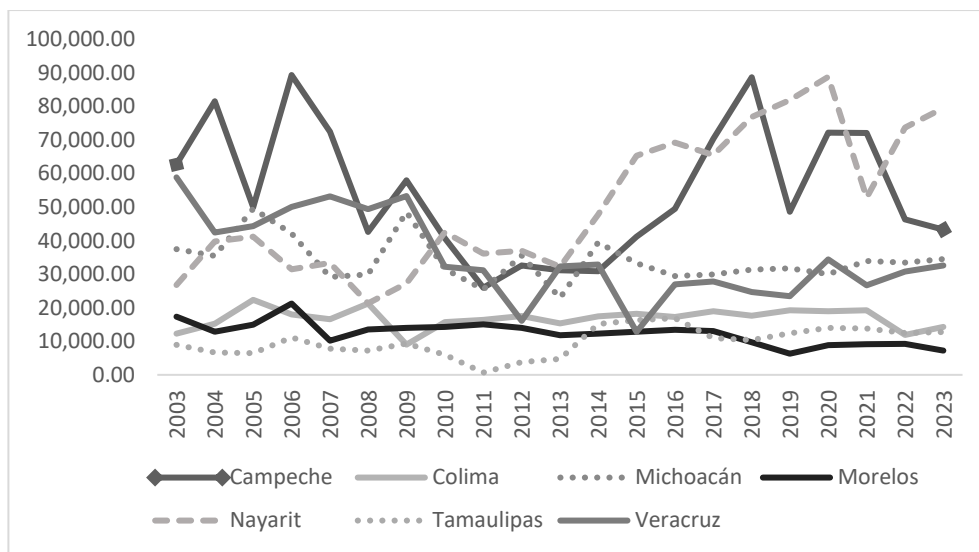


Figura 6. Producción estatal de arroz en México.

Al estimar el modelo los resultados muestran el rendimiento de temporal en función de la temperatura, el índice de superficie siniestrada y el índice de desviación de la precipitación (Cuadro 5). Los parámetros son significativos a un nivel de confianza del 10%.

Cuadro 5. Modelo de rendimiento en temporal.

Fuente	SS	df	MS	Número de observaciones	20
Modelo	0.1912409	3	0.063746958	F (3, 16)	10.27
Residuales	0.0993173	16	0.006207329	Prob > F	0.0005
				R-squared	0.6582
				Adj R-squared	0.5941
Total	0.2905581	19	0.015292534	Root MSE	0.07879
RT					
Coeficiente		Std. errs.	t	P> t	[95% conf. interval]
TEM	4.52839	0.9678533	4.68	0.000	2.476633 6.5B0147
ISS	-0.03217	0.062205	-2.46	0.026	- 0.02117
					0.284905
Dpi	-0.03217	0.017506	-1.84	0.085	- 0.004941
					0.069280
Constante	-12.40463	2.991297	-4.15	0.001	-18.7459 -6.06336

(**) para p=0.01

Esto muestra que depende en gran medida de factores climáticos: en cuanto al índice de desviación de la precipitación negativo indica presencia de sequía.

$$RTemporal = -12.40 + 4.52Tem_i - 0.153ISS - 0.03Dpi + \varepsilon_i$$

Los estados con mayor impacto de las variables climáticas en la producción de arroz son: Nayarit, Campeche, Veracruz, Michoacán y Morelos.

Esto indica que al aumentar la temperatura un 1% el rendimiento aumenta en 4.52% toneladas/hectárea. Al incrementar en 1% el índice de siniestro de la superficie, el rendimiento disminuye en -0.15% y al aumentar en 1% el índice de desviación de la precipitación (aumentar la sequía 1%) el rendimiento disminuye en -0.03%, debido a la ausencia de precipitaciones.

Para el rendimiento en riego las variables que influyen son la temperatura, la precipitación y la fuerza de trabajo del sector agrícola (ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento en riego.

Fuente	SS	df	MS	Número observaciones	20
Modelo	0.03238	3	0.01079	F (3, 16) Prob > F	10.23 0.0005
Residuales	0.01689	16	0.00106	R-squared Adj R-squared	0.6572 0.5930
Total	0.04927	19	0.00259	Root MSE	0.03249
RR	Coefficiente	Std. errs.	t	P> t	[95% conf. interval]
TEM	0.93922	0.44189	2.13	0.049	0.002458 1.875991
PRECI	-0.17532	0.09208	-1.9	0.075	-0.370539 0.0199
MO	0.65126	0.18218	3.57	0.003	0.265032 1.037481
Constante	-10.04861	3.27864	-3.06	0.007	-16.99903 -3.09819

(**) para p=0.01

$$\widehat{RRiego} = -10.04 + 0.93Tem_i - 0.175PRECI + 0.65MO + \varepsilon_i$$

El riego proporciona mayor control sobre el suministro de agua, se descarta la importancia de la precipitación debido a la eficiencia productiva y reducción de la dependencia de la precipitación natural.

Al aumentar la temperatura en 1 % el rendimiento en riego aumenta en 0.93%, al aumentar la precipitación en 1%, el rendimiento en riego disminuye en -0.175% y al incrementar en 1% la fuerza de trabajo el rendimiento en riego aumenta en 0.65%.

El rendimiento total de arroz está en función de la temperatura, el índice de siniestro y la mano de obra disponible en el sector agrícola (Cuadro 7). De manera general factores que escapan a la existencia de recursos hídricos, se realiza la estimación con errores robustos.

Cuadro 7. Rendimiento total.

Fuente	SS	df	MS	Número de observaciones	20	
Modelo	0.35080	3	0.11442	F(3, 16) Prob > F	0.3508	0.0000
Residuales	0.04932	16	0.00308	R-squared	0.8744	
Total	0.39258	19	0.02066	Root MSE	0.05552	
R	Coficiente	Error estándar	t	P> t	[95% conf. interval]	
TEM	5.314556	0.596714	8.91	0.000	4.04958	6.57953
ISS	-0.1191001	0.0425096	-2.80	0.013	-0.20922	-0.02898
MO	1.317646	0.3570995	3.69	0.002	0.56063	2.07466
Constante	-35.20823	5.947365	-5.92	0.000	-47.81608	-22.60038

(*) para p=0.05

$$\widehat{RTotal} = -35.20 + 5.31Tem_i - 0.119ISS + 1.31MO + \varepsilon_i$$

Al aumentar la temperatura en 1%, aumenta el rendimiento total en 5.31%. Al incrementarse el índice de siniestro 1%, disminuye el rendimiento en 0.119%; y al incrementarse la fuerza de trabajo en 1% el rendimiento aumenta en 1.31%.

Se cumple la relación teórica de los signos de los parámetros de las variables explicativas. El Cuadro 8 muestra el valor de las elasticidades, al trabajar con un modelo log-log la estimación de los parámetros permite observar la elasticidad de las variables respecto al rendimiento. El Cuadro 9 permite observar el valor de la evaluación estadística de los modelos.

Cuadro 8. Características generales de rendimiento en temporal, rendimiento en riego y rendimiento total.

Modelo de rendimiento			Elasticidades del modelo					
Modelo	Bondad de ajuste R ²	Prob>F	Término independiente	TEM	PRECI	ISS	Dpi	MO
RT	0.6582	0.0005	-12.4	4.52	-	-0.153	-0.03	-
RR	0.6572	0.0005	-10.04	0.93	-0.175	-	-	0.65
R	0.8744	0.0000	-35.2	5.31	-	-0.119	-	1.31

Cuadro 9. Pruebas estadísticas.

Pruebas estadísticas		
Modelo rendimiento de temporal		
Prueba	Valor	Diagnóstico
Sktest	p-value = 0.3782	Normalidad de los errores
Shapiro-Wilk	p-value=0.50850	Normalidad de los errores
Breusch Pagan Godfrey	P>= 0.4454	Homocedasticidad
Durbin Watson	DW = 1.726759	Autocorrelación
Breush Godfrey (lag1)	p-value = 0.7980	No Autocorrelación
VIF	Tem=1.01; ISS=1.24; Dpi=1.23	Multicolinealidad ausencia
Modelo rendimiento en riego		
Prueba	Valor	Diagnóstico
Sktest	p-value = 0.3782	Normalidad de los errores
Shapiro-Wilk	p-value=0.85680	Normalidad de los errores
Breusch Pagan Godfrey	P>= 0.4394	Homocedasticidad
Durbin Watson	DW = 2.20506	Autocorrelación
Breush Godfrey (lag1)	p-value = 0.6176	No Autocorrelación
VIF	Tem=1.24; PRECI=1.24; FT=1.01	Multicolinealidad ausencia
Modelo rendimiento total		
Prueba	Valor	Diagnóstico
Sktest	p-value = 0.3782	Normalidad de los errores
Shapiro-Wilk	p-value=0.12037	Normalidad de los errores
Prueba de White	P>= 0.0328	Homocedasticidad***
Durbin Watson	DW = 2.014874	Autocorrelación
Breush Godfrey (lag1)	p-value = 0.9255	No Autocorrelación
VIF	Tem=1.02; ISS=1.22; FT=1.23	Multicolinealidad ausencia

*** Se observan problemas de heterocedasticidad en el modelo rendimiento total, se usa la estimación con errores robustos para corregir heterocedasticidad.

Las pruebas muestran normalidad en los errores mediante la prueba Sktest. Presencia de homocedasticidad, la varianza de los errores es constante a lo largo del tiempo mediante la prueba Bruesch-Godfrey. Ausencia de autocorrelación de primer orden mediante la prueba Durbin-Watson. Homocedasticidad mediante la estimación de la prueba Breusch Pagan test y ausencia de multicolinealidad entre las variables independientes mediante la prueba de inflación de la varianza.

En cuanto al contraste de resultados la relación que existen entre el rendimiento y el cambio climático se ha desarrollado en diversos estudios.

Para Mendelsohn et al. (1994) el incremento de la temperatura puede tener beneficios en la agricultura. Se atribuye un impacto positivo de la temperatura y precipitación sobre el cultivo de arroz dada la necesidad de crecimiento (Asseng, Ewert & Martre, 2025; Wang et al., 2024). En los resultados esta relación se cumple, con excepción de la precipitación en riego. El rendimiento de riego tiene escasa sensibilidad a la precipitación e incluso una relación negativa con -0.175. Esta relación inversa, a mayor nivel de precipitación menor rendimiento en riego puede ser debido a los efectos adversos de la lluvia, pierde efectividad el nivel adicional de agua provocando encharcamientos, lixiviación de nutrientes o erosión del suelo.

En la aplicación en trigo de Asseng et al. (2025) se sugiere un impacto negativo de la temperatura en condiciones no favorables para el cultivo, pero en temperaturas dentro del rango óptimo tiene beneficios. En el estudio se encuentra un impacto positivo para los tres tipos de rendimiento modelado.

La relación de la temperatura con el rendimiento en temporal, riego y total es congruente con Reyes et al. (2024) quienes encuentran un coeficiente de elasticidad de 3.3 que relaciona la oferta de maíz con la temperatura, confirma la existencia de una relación directa entre el rendimiento y la temperatura. Sin embargo, para Kurukalasuriya et al. (2006), los cultivos de secano tienen mayor sensibilidad a la temperatura respecto a los de regadío, se encuentran adaptados al clima, esto se observa en los resultados del rendimiento en temporal con una

elasticidad de 4.53 mayor al riego con una elasticidad de 0.93, se confirma la sensibilidad mayor en temporal.

En cuanto a Seo et al. (2005) su estudio muestra beneficios de la precipitación en general. Para Molina et al. (2012) la elasticidad que relaciona la cantidad producida de maíz y sorgo con la disponibilidad de agua en riego es de 0.3 y 0.44 respectivamente, ambas con relaciones positivas. Los resultados obtenidos tienen una relación positiva con la precipitación en temporal, pues la desviación medida de la precipitación -0.03 evalúa la existencia de sequía y tiene una relación inversa con el rendimiento.

Los resultados difieren de la estimación del rendimiento de Traore et al. (2020) encuentra una relación inversa con el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación, dificultando el desempeño del rendimiento de arroz en seco.

En cuanto al índice de superficie siniestrada e índice de desviación de la precipitación, se debe de considerar la importancia de la introducción de paquetes tecnológicos.

De acuerdo con Irita et al. (2016) el rendimiento estará en función de las características óptimas de la superficie sembrada (p.2991). A la incorporación de mejoras tecnológicas e incremento de superficies tecnificadas con riego, principalmente en Nayarit, Campeche y Michoacán.

La evaluación de zonas climáticas factibles para la producción puede incrementar el rendimiento en Calderón y Farias (2020) menciona que la producción de arroz fue erradicada de Sinaloa debido a la sequía de 1990 a 2010 (p.728). Conforme a Reyes et al. (2024) la falta de competitividad de arroz se deriva de la escasa participación de estímulos productivos y atención a los pequeños productores, aunado a la sensibilidad de los factores climáticos.

Conclusiones

El rendimiento se relaciona con variables climáticas como temperatura y precipitación. La temperatura se encuentra presente en la determinación de los tres tipos de rendimiento, pero afecta en mayor proporción el rendimiento de temporal y total. La temperatura en rendimiento bajo riego tiene un efecto menor, se asocia a la capacidad de hidratación controlada en momentos óptimos.

La precipitación afecta el rendimiento de riego negativamente asociado posiblemente a un exceso de agua en zonas de riego con planificación. Por región productiva, la zona con mayor vulnerabilidad por sensibilidad climática es la zona sur con variaciones de la temperatura y precipitación, en menor medida la región noroeste con tecnología de riego controlado, pero con sequías recurrentes.

El índice de siniestro de la superficie sembrada afecta en mayor medida al rendimiento en temporal y el rendimiento total, al ser una variable de observación de pérdidas de cosecha, las decisiones de los productores evalúan la viabilidad e inversión en tierras favorables para la producción.

El índice de desviación de la precipitación presenta un impacto negativo en el rendimiento en temporal asociado a los escasos de lluvias. La variable socioeconómica de disponibilidad de mano de obra impacta el rendimiento en riego y rendimiento total, pero escasamente en el rendimiento de temporal.

La evaluación del impacto de las variables climáticas en la determinación del rendimiento muestra una mayor sensibilidad con la temperatura. Se atribuye a la dificultad de fertilidad del suelo y evaporación del agua, el arroz demanda abundante cantidad de agua y requiere la presencia de humedad adecuada.

Literatura citada

- Adams, R. M. (1989). Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1272-1279. <https://doi.org/10.2307/1243120>
- Asseng, S., Ewert, F., & Martre, P. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim Change*. (5) 143–147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
- Calderón Guzmán, B. J., Frías Sarmiento, E., (2020). Auge y declive de la actividad arrocerá en Sinaloa, México: 1960–2010. *Investigaciones Históricas, época moderna y contemporánea*. 40, 701-732. DOI: <https://doi.org/10.24197/ihemc.40.2020.701-732>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CNPd). (2025, 11 de junio). ¿Qué regiones del país son las más afectadas por las sequías? CNPD. <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-regiones-del-pais-son-las-mas-afectadas-por-las-sequias#:~:text=Estad%C3%ADsticamente%20los%20estados%20del%20pa%C3%ADs,Luis%20Potos%C3%AD%2C%20Aguascalientes%20y%20Guanajuato>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025, 08 de abril). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Datos Estadísticos de la FAO. (FAOSTAT). (2025, 20 de mayo). *Estadísticas de producción de arroz por país*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Delgadillo-Ruiz, O., & Leos-Rodríguez, J. (2021). Evolución y caracterización de la producción de granos básicos en México, 1980-2016. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 17 (4), 637-650. <http://dx.doi.org/10.22231/asyd.v17i4.1396>

García-Amaro de Miranda, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones geográficas*, (50), 67-76. Recuperado en 28 de octubre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000100009&lng=es&tlng=es.

INEGI (2025). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/>

Kumar, K. S., & Parikh, J. (2001). Indian Agriculture and Climate Sensitivity. *Global Environmental Change*, 11, 147–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00004-8)

Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Mohamed Eid, H., Fosu, Gbetibouo, G., Jain, S., Mahamadou, A., Mano, R., Kabubo-Mariara, J., El-Marsafawy, S., Molua, E., Ouda, S., Ouedraogo, M., Séne, I., Maddison, D., Seo, S.N & Dinar, A. (2006). Will African Agriculture Survive Climate Change? *World Bank Economic Review*, 20, 367–388. <https://doi.org/10.1093/wber/lhl004>

Martínez-Sánchez, Laura Elena. (2013). Modelo econométrico para el volumen de producción de maíz en cultivo de riego (1980-2011). *Tiempo Económico*, 23(8) UAM-A. <http://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/08/23te5.pdf>

Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D., (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*, 84, 753–771. https://econpapers.repec.org/article/aeaaecrev/v_3a84_3ay_3a1994_3ai_3a4_3ap_3a753-71.htm

Molina, G. J. N., García, S. J. A., Chalita, T. L. E. & Pérez, S. F. (2012). Efecto de procampo sobre la producción y las importaciones de granos forrajeros en México. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(3), 999-1010. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i5.1409>

- Ocampo, Olga. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de ingeniería*. 1(33), 15-123. [10.16924/revinge.33.11](https://doi.org/10.16924/revinge.33.11)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2024, 16 de enero). Datos: productos agrícolas y ganaderos. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Prieto-Cornejo M, Matus-Gardea J, Gavi-Reyes F, Omaña-Silvestre J, Brambila, Paz J, Sánchez-Escudero J, & Martínez-Damián M. (2019). Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 173-182. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2019.2.173-182>
- Reinsborough, M. J. (2003). A Ricardian Model of Climate Change in Canada. *Canadian Journal of Economics*, (36), 21–40. <https://doi.org/10.1111/1540-5982.00002>
- Reyes, S. E.; Bautista, M. F. y García, J. A. (2022). Análisis del Mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. México. *Acta Universitaria*. 32(32):1-16. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>
- Reyes-Santiago, Ester., Omaña Silvestre, José Miguel., Sangerman Jarquín, Dora Ma., Matus Gardea, Jaime Arturo & Almeraya Quintero, Silvia Xochilt. (2024). El Mercado de arroz en México: ¿qué factores lo determinan? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15 (8). México, Mex. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3566>
- Seo, S. Niggol., Mendelsohn, R & Munasinghe, M. (2005). Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation. *Environment and Development Economics*, 10 ,581–196. <https://doi.org/10.1017/S1355770X05002044>
- Servicio Meteorológico Nacional. (SMN). (2025, 04 de marzo). <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2024,10 de septiembre). <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>

Traore, S., Zhang, L., Guven, A., & Fipps, G. (2020). Rice yield response forecasting tool (YIELDCAST) for supporting climate change adaptation decision in Sahel. *Agricultural Water Management*, 239(1). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106242>

Wang, Lunche.; Danhua Zhong; Xinxin Chen, Zigeng Niu & Qian Cao (2024). Impact of climate change on rice growth and yield in China: Analysis based on climate year type. *Geography and Sustainability*. 5(4). 548-560, <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.06.006>

6. CONCLUSIONES GENERALES

Los factores de producción de la teoría económica y las condiciones climáticas son determinantes de la producción y de la productividad de arroz.

La producción de arroz presenta rendimientos crecientes a escala. El factor mano de obra puede incrementar la producción de arroz, favoreciendo la generación de empleo en el sector agrícola al ser el factor con mayor impacto. El incremento de la superficie sembrada en regiones estratégicas caracterizadas por uso de riego puede potenciar la producción y se puede fortalecer la competitividad vía desarrollo de tecnología, importante para la determinación de la producción, limitando la dependencia de fertilizantes nitrogenados, dado que se puede caer en una doble dependencia, considerando que la mayor parte de los insumos nitrogenados son importados.

Considerando las variables climáticas, la temperatura afecta en mayor proporción el rendimiento en temporal y rendimiento total. En términos geográficos, la zona con mayor vulnerabilidad por sensibilidad climática en rendimiento de temporal es la zona Sur por variaciones de temperatura y precipitación. El siniestro de la superficie sembrada afecta en mayor medida al rendimiento en temporal y el rendimiento total. La región Noroeste caracterizada por tecnología de riego reporta el mejor rendimiento de arroz, pero susceptibles limitaciones por sequías recurrentes.

Es importante identificar hasta qué punto el cultivo del arroz se encuentra en un entorno de obsolescencia o desuso agrícola por vía climática, es decir, la renuncia a la siembra del cultivo en beneficio del medio ambiente o del entorno de producción, el cultivo de arroz es altamente demandante de recursos hídricos.

En la actualidad la obsolescencia ecológica manifiesta el abandono de un cultivo en perfecto estado por otro, amable con el medio ambiente, el arroz se limita por el incremento de las sequías y escasas de agua. Resaltan repercusiones en el

rendimiento derivadas de la escasa precipitación e índice de siniestro, así como la dinámica de la temperatura media.

En el contexto internacional la dependencia de arroz y la escasa competitividad expone al país. Aun cuando la modernización del sector agrícola junto a la especialización tuvo como objetivo alcanzar la autosuficiencia y seguridad alimentaria. Se demostró que México presenta vulnerabilidad, la baja producción de arroz manifiesta la pérdida de soberanía alimentaria, ubicando al país en una agricultura desfasada que repercute en el desabastecimiento de un cultivo estratégico, con flujos comerciales crecientes, pero con una relación de dependencia.

Se asocia la falta de competitividad limitados estímulos productivos para uso de factores productivos y atención a productores de arroz. La respuesta institucional para lograr incentivar el mercado nacional de arroz a través de Producción para el Bienestar, Fertilizantes del Bienestar y el programa Precio de Garantía para pequeños y medianos productores es insuficiente para impulsar la producción. Si se incorpora el análisis de los impactos de los factores productivos para el cultivo se puede ayudar a mejorar el diseño de apoyos y recurrir a políticas productivas. Además de ayuda a alcanzar los objetivos de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Fortalecer la política de subsidio a la producción puede ser cuestionable en términos socioeconómicos. Es necesario identificar la viabilidad considerando los apoyos directos a insumos como extensión de superficie, mano de obra y fertilizantes, hasta qué nivel puede ser sostenible si se busca incrementar el volumen de aplicación de productores y el lugar, considerando condiciones climáticas regionales además de uso de tecnología de riego y temporal.

Utilizar las evaluaciones identificadas en la producción de arroz ayuda a determinar si es viable dar continuidad a estrategias productivas. Reconsiderar un cultivo estratégico, el arroz, y reconocer la necesidad de atender los desabastos en cereales a nivel nacional, retomando limitaciones climáticas.

7. LITERATURA CITADA

- Adams, R. M. (1989). Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1272-1279. <https://doi.org/10.2307/1243120>
- Asseng, S., Ewert, F., & Martre, P. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim Change*. (5) 143–147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
- Caamal, I., Pat, V., Jerónimo, F., Álvarez, X., Deviana, F., & Ramos, J. (2017). *Contexto económico y competitividad en el mercado mundial del limón persa de México*. Estado de México, México: UACH.
- Caballero, R. (2020). Producción de arroz en Chiriquí en relación con la superficie sembrada y su aporte al consumo nacional. *Faeco Sapiens*, 3(1), 21-40. <http://dx.doi.org/10.48204/j.faeco.v3n1a2>
- Cadet-Díaz, S., & Guerrero-Escobar, S. (2015). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 15(3), 311-337. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000300311&lng=es&tlng=es.
- Caicedo-Camposano, O. Díaz-Romero, O. Cadena-Piedrahita, R. & Galarza-Centeno, G. (2019). Diseño de un sistema de producción de arroz sostenible en Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Killkana Técnica*. 3(1) 19-24. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i1.472.
- Calderón Guzmán, B. J., Frías Sarmiento, E., (2020). Auge y declive de la actividad arrocería en Sinaloa, México: 1960–2010. *Investigaciones Históricas, época moderna y contemporánea*. (40), 701-732. DOI: <https://doi.org/10.24197/ihemc.40.2020.701-732>

- Carrasco Choque, F. (2020). Pronóstico de la producción de las principales frutas en la región de Piura. Un análisis econométrico con el método de Box-Jenkins. *Semestre Económico*, 9(2), 31-44.
<http://dx.doi.org/10.26867/se.2020.2.102>
- Centro de Análisis e Investigaciones. (FUNDAR). (14 de agosto de 2014). ¿Por qué es importante la pequeña agricultura? <https://fundar.org.mx/porque-es-importante-la-pequena-agricultura/>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CNPD). (2025, 11 de junio). ¿Qué regiones del país son las más afectadas por las sequías? CNPD.
<https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-regiones-del-pais-son-las-mas-afectadas-por-las-sequias#:~:text=Estad%C3%ADsticamente%20los%20estados%20del%20pa%C3%ADs,Luis%20Potos%C3%AD%2C%20Aguascalientes%20y%20Guanajuato.>
- Comisión de Economía. (CE). (2022, 21 de febrero). Dictamen.
https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/65/2/2022-11-24-1/assets/documentos/Dict_Com_Economia_PA_Produccion_Nacional.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2025, 08 de abril). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia.
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Datos Estadísticos de la FAO. (FAOSTAT). (2025, 20 de mayo). *Estadísticas de producción de arroz por país*.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Delgadillo-Ruiz, O., & Leos Rodríguez, J. (2021). Evolución y caracterización de la producción de granos básicos en México, 1980-2016. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 17 (4), 637-650.
<http://dx.doi.org/10.22231/asyd.v17i4.1396>

- Delgadillo-Ruiz, O., Leos-Rodríguez, J.A., Valdez-Cepeda, R.D., Ramírez-Moreno, P.P., Salas-González, J.M. (2016). Análisis de la viabilidad de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) En el corto y largo plazo en Zacatecas, México. *Agroproductividad*. 9(5), 16-21. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/754/620>
- Deschenes, O., & Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*. (97), 354-385. https://www3.nd.edu/~nmark/Climate/Deschenes_Greenstone01.pdf
- Deschenes, O., & Greenstone, M. (2012). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Reply. *American Economic Review*. 102(7), 3761–3773. <http://dx.doi.org/10.1257/aer.102.7.3761>
- Espinosa-Espinosa, J. L., Palacios-Vélez, E., Tijerina-Chávez, L., Ortiz-Solorio, C. A., Exebio-García, A., & Landeros-Sánchez, C. (2018). Factores que afectan la producción agrícola bajo riego: cómo medirlos y estudiar su efecto. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(2), 175-191. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-07>
- Everson, R. E., & Kislev, Y. (1973). Research and Productivity in Wheat and Maize. *Journal of Political Economy*. 81 (6), 1309-1329. <http://www.jstor.org/stable/1830742>
- Favilla Tello, A., Herrera Corral, M. A., (2023). Competitividad internacional del arroz mexicano: un análisis con base en datos de comercio exterior. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 12(35), 18-31. <https://doi.org/10.36677/recai.v12i35.21268>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (FIRA). (2019). *Panorama Agroalimentario. Dirección y evaluación económica y sectorial. Maíz 2019*. FIRA. Disponible en <https://www.inforural.com.mx/wp->

<content/uploads/2019/11/Panorama-Agroalimentario-Ma%C3%ADz-2019.pdf>

- Fiscal, Carlos B., Restrepo, B., Luis Fernando, & Rodríguez, Holmes, E. (2017). Estructura productiva agrícola del Estado de Sinaloa, México, y el Tratado De Libre Comercio de América Del Norte (TLCAN). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 33(1), 14-23. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902017005000102>
- Flores, V. & Schwentesius, R. (2001), Razones para renegociar el TLCAN en el sector de granos y oleaginosas de México. En *Estrategias para el cambio en el campo mexicano*. Coordinadores Gómez, M y Schwentesius, R. Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y Agricultura Mundial. (87-111). CIESTAAM. México.
- Fuentes-Gómez. R., (2008). *La tecnología como herramienta de impulso al sector agrícola: la industria arroceras en México*. [tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. Repositorio Institucional TEC. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/629093>
- García Salazar, J. A., & Omaña Silvestre, J. M. (2001). Fuentes de crecimiento del empleo en el sector agrícola del norte de México. *Frontera norte*, 13(25), 71-93. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722001000100003&lng=es&tlng=es.
- García-Amaro de Miranda, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones geográficas*, (50), 67-76. Recuperado en 28 de octubre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000100009&lng=es&tlng=es.

- Gaucín, S. D., & Torres, E. (2011). El mercado de los fertilizantes 2011-2012. *Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (FIRA)* Informe.
<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/239especial/ca239especial-45.pdf>
- Gómez-Castillo, R. (2005). Comportamiento de los cultivos básicos a nivel nacional y por zona geoeconómica. [tesis de maestría, DICEA, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional.
- Gómez-Oliver, L., & Granados-Sánchez, R. (2016). Las cuatro grandes empresas comercializadoras y los precios internacionales de los alimentos. *Economía Informa*, (400), 24-39.
<https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.09.003>
- González, E., Rivera, D., & Jované, J. (2018): La importación y los precios en la cadena de producción de arroz durante el período 2001-2014. *RIC*. 4(2), 62-65. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1822>
- González, Estrada, A., y Camacho, Amador, Maricela. (2017). Emisión De Gases De Efecto Invernadero De La fertilización Nitrogenada En México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*. 8(8), 1733-45.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.698>.
- González-Estrada, A. (2001). *La descampesinización de México*. DICEA. UACH, México.
- Gowon, D. T., Anderson, J.C., & Biswas, B. (1978). An Economic Interpretation of Impact of Phenologically Timed Irrigation on Corn Yield. *Western Journal of Agricultural Economics*, 3(2), 145-156. [10.22004/ag.econ.32553](https://doi.org/10.22004/ag.econ.32553)
- Grupo Consultor de Mercados Agrícolas. (GCMA). (2021). *Perspectivas agroalimentarias 2022. México cada vez más dependiente del exterior*. Cuarta edición.

- Gujarati, Damodar N. y Porter, Dawn C. (2010). *Econometría*. Mc Graw Hill. Quinta Edición. México, D. F.
- Guzmán-Soria, E., De la Garza-Carranza, M. T., García Salazar, J. A., Rebollar, S., & Hernández-Martínez, J. (2019). Análisis económico del mercado de frijol grano en México. *Agronomía Mesoamericana* 30(1), 131-146. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33760>
- Hernández Trujillo, J. M. (2004). Reestructuración productiva a la inversa: el caso de la producción de granos básicos en México. *El Cotidiano*, 19(123), 30-43. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512304.pdf>
- Hernández, J., & Damián, M. (2009). Efecto del cambio de precios de garantía a PROCAMPO en precios del productor, sin incluir efecto de importaciones. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2). 153-159. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000200011
- Hernández-Pérez, Juan L. (2021). La agricultura mexicana del TLCAN al TMEC: consideraciones teóricas, balance general y perspectivas de desarrollo. *El trimestre económico*. 88(352), 121-1152. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i352.1274>.
- Hernández-Plascencia, J.A., & Segura-García del Río, B. (2016). Un modelo econométrico para la valoración de la tierra en México. *Agroproductividad*. 9(11), 3-7. https://www.civat.upv.es/wp-content/uploads/2017/05/AGROPRODUCTIVIDAD_XI_2016.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI) (2020). Estructura porcentual del producto interno bruto por sector de actividad económica. Consultado el 10 de octubre de 2021. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/Cuadroestadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=785&c=24393>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI) (2025).
<https://www.inegi.org.mx/>

Ireta-Paredes, A. D. R., Altamirano-Cárdenas, J. R., Ayala-Garay, A. V., Covarrubias-Gutiérrez, I., & Muñoz-Rodríguez, M. (2016). Factores que explican la permanencia de la producción de arroz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (15), 2981-2993.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i15.420>.

Krugman, P., Obstfeld, M., & Melitz, M. (2012). *Economía internacional, teoría y política*. Madrid, España. Pearson.

Kumar, K. S., & Parikh, J. (2001). Indian Agriculture and Climate Sensitivity. *Global Environmental Change*, 11, 147–154.
[https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00004-8)

Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Mohamed Eid, H., Fosu., Gbetibouo, G., Jain, S., Mahamadou, A., Mano, R., Kabubo-Mariara, J., El-Marsafawy, S., Molua, E., Ouda, S., Ouedraogo, M., Séne, I., Maddison, D., Seo, S.N & Dinar, A. (2006). Will African Agriculture Survive Climate Change? *World Bank Economic Review*, 20, 367–388. <https://doi.org/10.1093/wber/lhl004>

Lechuga-Jardínez, Y., García-Salazar, J. A., Portillo-Vázquez, M., & García Sánchez, R. A. (2014). Efectos del TLCAN sobre el empleo de mano de obra en el sector agrícola de México, 1994-2010. *Región y sociedad*, 26(60), 5-28. <http://dx.doi.org10.21670/ref.2006.13.a04>

Ley de desarrollo Rural Sostenible. (LDRS). (2021, 20 de mayo). DOF. CAPÍTULO XVII. De la Seguridad y Soberanía Alimentaria.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235_030621.pdf

- Lobell, D. B. & Burke, M. B. (2010). On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150(11), 43-1452. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.07.008>
- López Feldman, A. J., & Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Loria, E. (2007). *Econometría con aplicaciones*. Ciudad de México, México: Pearson, primera edición.
- Mankiw, Gregory N. (2014). *Macroeconomía*. Octava Edición. Antoni Bosch Editor. España.
- Martínez, B., & Vallejo, J. (2011). “Las nuevas relaciones rural-urbanas mercados de trabajo en Morelos y el Estado de México”. En: Salas H, Rivermar M, Velasco P (editores). *Nuevas Ruralidades. Expresiones de la transformación social en México*. Ed. UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas. México, D.F.
- Martínez-Salvador, Laura Elena. (2013). Modelo econométrico para el volumen de producción de maíz en cultivo de riego (1980-2011). *Tiempo Económico*, 23(8), 61-80. <http://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/08/23te5.pdf>
- Martínez-Salvador, Laura Elena. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas del desarrollo*, 47(186), 107-132. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362016000300107&lng=es&tlng=es
- Mejía-Matute, S. R., Pinos-Luzuriaga, L. G., & Tonon-Ordóñez, L. B. (2023). Función de Producción Cobb-Douglas. Una Revisión

Bibliográfica. *Economía Y Negocios*, 14(2), 74–95.
<https://doi.org/10.29019/eyn.v14i2.1124>

Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D., (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*, 84, 753–771.
https://econpapers.repec.org/article/aeaaecrev/v_3a84_3ay_3a1994_3ai_3a4_3ap_3a753-71.htm

Mendoza-Mondragón, R. (2014). Modelo de negocios para incrementar la competitividad de arroz mexicano. [tesis de maestría, CIESTAM, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/20.500.12098/352>

Mendoza-Mondragón, R. (2014). Modelo de negocios para incrementar la competitividad de arroz mexicano. [tesis de maestría, CIESTAM, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/20.500.12098/352>

Molina, G. J. N., García, S. J. A., Chalita, T. L. E. & Pérez, S. F. (2012). Efecto de procampo sobre la producción y las importaciones de granos forrajeros en México. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(3), 999-1010. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i5.1409>

Muñoz-Pinzón, D. St., Polo-Roa, A., Sierra-Mantilla, E. J., Rueda-Urbe, D. F. (2020). Modelación matemática en estudio de agro cadenas: una revisión de literatura. *Revista politécnica*, (31), 110-137. doi: [10.33571/rpolitec.v16n31a9](https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a9)

Ocampo, Olga. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de ingeniería*. 1(33), 15-123. doi: [10.16924/revinge.33.11](https://doi.org/10.16924/revinge.33.11)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2022, 16 de enero). Datos: productos agrícolas y ganaderos. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO, FIDA, OPS, WFP & UNICEF). (2020). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutrición en América Latina y el Caribe 2020*. Santiago de Chile. <https://doi.org/10.4060/cb2242es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2019). *El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*. Ciudad de México. 68 pp. <https://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2017). *Seguridad Alimentaria y Nutricional. Conceptos básicos*. Programa especial para la seguridad alimentaria, PESA Centroamérica. Ciudad de Guatemala, Guatemala. <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/en/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2019). *El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*. FAO. <https://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2020). *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y El Caribe 2020*. FAO. <https://www.fao.org/3/cb2242es/cb2242es.pdf>
- Orozco, H. M., Peña, M. V., García, F. B. & Tapia, Q. J. (2018). Estrategias neoliberales y la transformación de la organización territorial del sector agropecuario en México, 1980-2011. En *Globalización, políticas neoliberales y transformaciones en la organización espacial de la*

economía mexicana a partir del decenio de 1980. María Teresa Sánchez-Salazar & María Teresa Gutiérrez de MacGregor. 93-120. UNAM. Cd. Mx.
<http://dx.doi.org/10.14350/gsxxi.li.22>

Pant, J., Pant, R. P., Singh, M. K., Singh, D. P & Pant, H. (2021). Analysis of agricultural crop yield prediction using statistical techniques of machine learning. *Materials Today: Proceedings*. 46(20), 10922-10926.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.948>

Pasinetti, L. (1984). *Lecciones de teoría de la producción*. Fondo de cultura económica, 1984. CDMX.

Pérez-Fernández, A., Caamal-Cauich I., Pat-Fernández V.G., Martínez-Luis D, & Reza-Salgado J. Análisis de los factores que determinan el crecimiento del sector agrícola de México. (2018). *Agroproductividad*. 11(1), 131-135.
<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/164>

Pérez-Fernández, A., Caamal-Cauich I., Pat-Fernández V.G., Martínez-Luis D, & Reza-Salgado J. (2019). Influencia de adopción de tecnología y la mano de obra en la eficiencia productiva en el sector agrícola de México, 1979-2014. *Acta Universitaria*, (29), 1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1631>

Porter, M. (2015). *Ventaja competitiva*. Ed. Patria. Segunda Edición. México, CDMX.

Prieto-Cornejo M, Matus-Gardea J, Gavi-Reyes F, Omaña-Silvestre J, Brambila, Paz J, Sánchez-Escudero J, & Martínez-Damián M. (2019). Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 173-182. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2019.2.173-182>

Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. (PESA). (2011). *Seguridad Alimentaria Nutricional, Conceptos Básicos*. 3ra Edición.

<https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>

Pureco Ornelas, J. A., & García Crescencio, A. D. (2017). Del Estado al mercado. La tendencia general de la producción del arroz en México, 1930-2010. *Letras históricas*, (17), 157-183.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-83722017000200157&lng=es&tlng=es.

Puyana, A., & Romero, J. (2004). *Evaluación integral de los impactos e instrumentación del capítulo agropecuario del TLCAN*. Ciudad de México, México. CEE. EL COLMEX.

Reinsborough, M. J. (2003). A Ricardian Model of Climate Change in Canada. *Canadian Journal of Economics*, (36), 21–40.
<https://doi.org/10.1111/1540-5982.00002>

Reyes, S. E.; Bautista, M. F. y García, J. A. (2022). Análisis del Mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. México. *Acta Universitaria*. 32(32):1-16. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>

Reyes-Santiago, Ester., Omaña Silvestre, José Miguel., Sangerman Jarquín, Dora Ma., Matus Gardea, Jaime Arturo & Almeraya Quintero, Silvia Xochilt. (2024). El Mercado de arroz en México: ¿qué factores lo determinan? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15 (8). México, Mex.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3566>

Rivera de la Rosa, A. R., Ortiz Pech, R., Araújo Andrade, L. A. & Amílcar Heredia, J. (2015). México y la autosuficiencia alimentaria (sexenio 2006-2012). *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 33-49.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:395

- Rubio Vega, B. A. (2011). Crisis mundial y soberanía alimentaria en América Latina. *Revista de Economía Mundial*. 29, 61-87
<https://www.redalyc.org/pdf/866/86622169002.pdf>
- Sánchez Cano, J. E., (2014). La política agrícola en México, impactos y retos. *Revista Mexicana de Agronegocios*, (35), 946-956.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14131676004>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (SADER). (2022). Balanza Comercial Agroalimentaria de México.
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691961/Balanza Comercial Agropecuaria y Agroindustrial Nov 2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691961/Balanza_Comercial_Agropecuaria_y_Agroindustrial_Nov_2021.pdf)
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (SAGARPA). (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Primera edición, p. 1-14.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256423/B_sico-Arroz.pdf
- Secretaría de Bienestar. (2025). Programas para el bienestar.
<https://programasparaelsenbienestar.gob.mx/precios-de-garantia/>
- Seo, S. Niggol. (2008a). Assessing Relative Performance of Econometric Models in Measuring the Impact of Climate Change on Agriculture Using Spatial Autoregression. *The Review of Regional Studies*. 38(2), 195–209.
[10.52324/001c.8263](https://doi.org/10.52324/001c.8263)
- Seo, S. Niggol., Mendelsohn, R & Munasinghe, M. (2005). Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation. *Environment and Development Economics*, (10), 581–196.
<https://doi.org/10.1017/S1355770X05002044>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). (2022, septiembre de 2023). Banco de información. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Servicio Meteorológico Nacional. (SMN). (2025, 04 de marzo). <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2025, 10 de septiembre). <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Tomek, W. G., & Kaiser H. M. (2014). *Agricultural Product Prices*. Cornell University Press, Quinta Edición. USA, N.Y.
- Tosquy Valle, Oscar H., Vásquez Hernández, Andrés., Esqueda Esquivel, Valentín Alberto, Jácome Maldonado, Sergio Miguel, & Vargas García, Ana Bertha. (2008). Comparación agroeconómica de la fertilización con amoníaco anhidro y urea en arroz temporal. *Agricultura técnica en México*, 34(4), 387-396. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000400002&lng=es&tlng=es
- Traore, S., Zhang, L., Guven, A., & Fipps, G. (2020). Rice yield response forecasting tool (YIELDCAST) for supporting climate change adaptation decision in Sahel. *Agricultural Water Management*. 239(1). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106242>
- Turrent-Fernández, A., & Cortés-Flores, J. (2005). Ciencia y tecnología en la agricultura mexicana: I. Producción y sostenibilidad. *Terra Latinoamericana*, 23(2), 265-272. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57323214.pdf>

- Urquía Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud pública en México*. 56, 592-598.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v56s1/v56s1a14.pdf>
- Virgilio-León, J., García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., García-Mata, R., & Ramírez-Jaspeado, R. (2023). Efectos de la política de precios de garantía sobre el mercado de arroz en México. *Revista fitotecnica mexicana*, 46(2), 195-202. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.195>
- Wang, Lunche.; Danhua Zhong; Xinxin Chen, Zigeng Niu & Qian Cao (2024). Impact of climate change on rice growth and yield in China: Analysis based on climate year type. *Geography and Sustainability*. 5(4). 548-560, <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.06.006>.
- Zagoya-Martínez, J. Aurelio-Saquet, Marcos., Ramírez, A. M., López-Zamora, R. de J., & Hernández-Rodríguez, M. L. (2017). Política de estado y producción de cereales: transformaciones territoriales en Valles Altos de México. *Revista de geografía agraria*, 12 (27), 5-28. [DOI: 10.14393/RCT122701](https://doi.org/10.14393/RCT122701)
- Zavala Álvarez, J. (2006). Estancamiento y desaliento del desarrollo productivo en la región agrícola del Valle de Mexicali, Baja California: un análisis tendencial. *Estudios fronterizos* 7(18), 63-94.
<http://dx.doi.org/10.21670/ref.2006.13.a04>