



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS EN AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD
ALIMENTARIA EN CONTEXTO DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:



**DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

APROBADA



Presenta:

YADIHRA CRUZ SÁNCHEZ

Bajo la dirección de:

DR. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS



Chapingo, Estado de México, agosto de 2024

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD
ALIMENTARIA EN CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
MÉXICO**

Tesis realizada por **YADHRA CRUZ SÁNCHEZ** 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 AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

DIRECTOR:

DR. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS

ASESOR:

DR. JULIO BACA DEL MORAL

ASESOR:

DRA. ALMA ESTHER AGUILAR ESTRADA

LECTOR EXTERNO:

DRA. PATRICIA RUIZ GARCÍA

CONTENIDO

Índice de cuadros.....	vi
Índice de figuras.....	viii
Abreviaturas usadas	x
Dedicatoria.....	xii
Agradecimientos	xiii
Datos bibliográficos.....	xiv
Resumen general.....	xvi
Abstract.....	xvii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema de investigación	5
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos de la investigación	6
1.5. Alcance de la investigación en la ruta cuantitativa	7
1.6. Hipótesis de la investigación	7
1.7. Viabilidad del estudio.....	8
1.8. Deficiencias en el conocimiento del problema.....	8
1.9. Contenido temático.....	9
1.10. Literatura citada	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA	13
2.1. Dimensiones de seguridad alimentaria.....	16
2.2. Medición de la seguridad alimentaria	19
2.3. Seguridad alimentaria en contexto del cambio climático	19

2.4. Literatura citada.....	22
CAPÍTULO 3. ENFOQUES METODOLÓGICOS DE EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO.....	27
3.1. Introducción.....	29
3.2. Materiales y Métodos.....	31
3.3. Resultados y discusión.....	32
3.4. Conclusiones.....	49
3.5. Literatura citada.....	50
CAPÍTULO 4: THE AVAILABILITY OF FOOD IN MEXICO: AN APPROACH TO MEASURING FOOD SECURITY.....	55
4.1. Introduction.....	56
4.2. Method.....	61
4.3. Results.....	67
4.4. Discussion.....	76
4.5. Conclusions.....	79
4.6. References.....	81
CAPÍTULO 5: EL ACCESO A LOS ALIMENTOS EN MÉXICO: CLAVE PARA LA SOBERANÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA.....	88
5.1. Introducción.....	90
5.2. Objetivo.....	92
5.3. Método.....	93
5.4. Discusión de resultados.....	96
5.5. Conclusiones.....	105
5.6. Literatura citada.....	106

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO: UNA EVALUACIÓN TENDENCIAL A NIVEL MUNICIPAL	110
6.1. Introducción	111
6.2. Materiales y métodos.....	114
6.3. Resultados.....	118
6.4. Discusión	123
6.5. Conclusiones y recomendaciones	127
6.6. Literatura citada.....	128
CAPÍTULO 7: EXPLORING FOOD SECURITY AND INSECURITY IN MEXICO: VULNERABLE REGIONS DUE TRENDS AND CLIMATE CHANGE	133
7.1. Introduction.....	134
7.2. Materials and methods	136
7.3. Results.....	143
7.4. Discussion	147
7.5. Conclusions	153
7.6. References	154
CONCLUSIONES GENERALES	162

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de las investigaciones consultadas para la revisión de dimensiones, métodos y metodologías para el estudio de la seguridad alimentaria.	33
Cuadro 2. Compilación de indicadores por dimensión de seguridad alimentaria	39
Table 3. Weightings of the variables and sources of information used to measure food availability.	64
Table 4. Values and classes of the food availability indicator.	66
Table 5. Environmental conditions in the municipalities of Mexico.....	67
Table 6. Distribution of Mexican municipalities in social food production category.	70
Table 7. Distribution of Mexican municipalities in the provision of food category.	70
Table 8. Distribution of Mexican municipalities in the caloric and protein category.	71
Table 9. Distribution of Mexican municipalities in the food supply category.....	72
Table 10. Distribution of Mexican municipalities in the categories of food availability	74
Cuadro 11. Subindicadores, variables y fuentes de información para medir el acceso	93
Cuadro 12. Valores y clases del indicador de acceso a los alimentos y sus subindicadores.....	95
Cuadro 13. Categorías de cada subindicador y sus variables, por municipio y a nivel nacional	97
Cuadro 14. Subindicadores, variables asociadas, unidades de medida, periodos y fuentes utilizadas para la medición de la estabilidad alimentaria en México.	115

Cuadro 15. Clasificación de los subindicadores e indicador de la estabilidad de los alimentos	117
Cuadro 16. Variación de los subindicadores empleados para mediar la estabilidad de los alimentos de acuerdo con el indicador.	122
Table 17. Dimensions and variables used to measure food security in Mexico.	137
Table 18. Food security classes and ranges for Mexico.	141
Table 19. Stability variables considered for the baseline scenario.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del contenido del documento de titulación.....	10
Figura 2. Número de documentos por autor	46
Figura 3. A) La tendencia de las publicaciones anuales de 2000-2021; B) Distribución por países.....	47
Figura 4. A) Distribución por afiliación; B) distribución por área temática.	48
Figura 5. Análisis de co-ocurrencia de palabras clave en la seguridad alimentaria en México entre 2010-2021.	48
Figure 6. Spatial distribution at the municipal level of a) environmental conditions for production, b) social conditions, c) food supply, d) caloric and protein sufficiency, e) food supply and f) food availability in the municipalities of Mexico	69
Figure 7. Correlation between variables and subindicators a) environmental conditions for production, b) social conditions, c) food supply, d) caloric and protein sufficiency, e) food supply and correlation between subindicators and indicator f) food availability.....	73
Figura 8. Global Moran Index: DA.....	75
Figura 9. Significance map: DA.....	75
Figura 10. Food availability index in municipalities of Mexico and correlation with neighboring municipalities. The strong red color indicates that a municipality has high availability of food and its neighbors as well. In contrast, the strong blue color indicate	76
Figura 11. El acceso a los alimentos de los municipios en México por subindicador	101
Figura 12. Indicador de acceso físico y económico y su relación con los subindicadores.....	103

Figura 13. Indicador de acceso físico y económico a los alimentos en México	103
Figura 14. Agrupación de los municipios mexicanos obtenido del Índice global de Moran.....	105
Figura 15. Evolución temporal de las variables que miden la estabilidad ambiental en varios municipios.	119
Figura 16. Evolución temporal de las variables que miden la estabilidad de los sistemas de producción en varios municipios.	120
Figura 17. Evolución temporal de las variables que miden la estabilidad económica y de precios en varios municipios.	121
Figura 18. Estabilidad alimentaria municipal en México: Resultados del indicador y subindicadores	122
Figure 19. Variables and dimensions of the food security conceptual framework	140
Figure 20. Total municipalities by food security category according to the scenario for Mexico	144
Figure 21. Comparison of trend and climate change scenarios at the municipal level	145
Figure 22. Spatial distribution of the food security index in municipalities of Mexico according to the scenario evaluated	146
Figure 23. Food security index for municipalities (left) and regions vulnerable to food insecurity in Mexico (right)	147

ABREVIATURAS USADAS

Abreviatura	Significado
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
EMSA	Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria
INPC	Índice Nacional de Precios al Consumidor
PIB	Producto Interno Bruto
ELCSA	Escala Latinoamericana y del Caribe de Seguridad Alimentaria
IA	Inseguridad Alimentaria
SA	Seguridad Alimentaria
OMS	Organización Mundial de la Salud
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido nitroso
kcal	Kilocalorías
°C	Grados centígrados
Ensanut	Encuesta Nacional de Salud y Nutrición
SMIA	Sistema de Alerta Temprana de Información Global
NA	No aplica
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
Conasami	Comisión Nacional de los Salarios Mínimos
Enoe	Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
SDGs	Sustainable Development Goals
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
GM	Grado de Marginación
CONAPO	Consejo Nacional de Población
PUs	Unidades de producción
PTot	Población total
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca

DA	Disponibilidad de alimentos
CSP	Condiciones sociales para la producción
CAP	Condiciones ambientales para la producción
PA	Provisión de alimentos
OA	Oferta de alimentos
CONAHCYT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología
DGIP	Dirección General de Investigación y Posgrado
HLPE	High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition
FIDA	International Fund for Agricultural Development
PMA	Programa Mundial de Alimentos
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
PESA	Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria
Km	Kilómetros
LBE	Línea de Bienestar Económico
Km ²	Kilómetros cuadrados
PROFECO	Procuraduría Federal del Consumidor
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres

DEDICATORIA

A mi hijo, cuyo amor y alegría me han dado la fuerza para seguir adelante en cada momento de este viaje. Eres mi inspiración y mi motivo para luchar cada día.

A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. Gracias por enseñarme el valor del trabajo duro, la perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Alejandro Monterroso, quien ha sido el pilar de este trabajo. Su guía, apoyo constante y conocimiento han sido fundamentales para la realización de esta investigación. Sin su orientación, este proyecto no habría sido posible.

Al Dr. Julio Baca y a la Dra. Alma Aguilar, les agradezco sinceramente por su valiosa colaboración. Su experiencia y contribuciones enriquecieron de manera significativa el desarrollo de esta tesis y siempre estaré agradecida por el tiempo y el esfuerzo que dedicaron.

A la Dra. Patricia Ruiz, gracias de corazón por estar siempre dispuesta a ayudarme. Le extiendo mi agradecimiento por su colaboración y compartir su experiencia conmigo.

A la Dra. Leticia López, gracias por su constante apoyo y amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por forjarme como la profesionista que ahora soy.

A la Coordinación del Posgrado de Doctorado en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible por el apoyo brindado

Al Departamento de Fitotecnia y al Departamento de Suelos

Agradezco profundamente a Dios, por darme la fortaleza

DATOS BIOGRÁFICOS



Mi nombre es Yadihra Cruz Sánchez, nací el 4 de octubre de 1988 en San Bernardo, Durango, México. Soy Ingeniero Forestal con cédula profesional número 11138949.

En cuanto a mi desarrollo académico, obtuve el bachillerato en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Posteriormente, completé la licenciatura en Ingeniería Forestal en la misma institución, donde también obtuve la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales.

A lo largo de mi trayectoria profesional, he adquirido experiencia en diversas organizaciones de prestigio. Entre marzo de 2017 y julio de 2018, trabajé como Coordinador Regional B y Técnico de Plantaciones Forestales Comerciales en el Estado de México para la Protectora de Bosques (PROBOSQUE), con sede en Metepec, Estado de México.

Anteriormente, entre enero de 2015 y agosto de 2016, me desempeñé como Técnico Administrativo en Consultores para la Investigación Aplicada y el Desarrollo, en Texcoco, Estado de México. En esta posición, fui responsable de la administración y seguimiento de proyectos de Compensación Ambiental por Cambio de Uso de Suelo, además de actuar como asistente técnico en el seguimiento y control de calidad del Inventario Nacional de Plantaciones Forestales en México.

En mi etapa inicial, trabajé como Ayudante Técnico en PRINDES, Proyectos Integrales para el Desarrollo Sustentable, desde octubre de 2014 hasta enero de 2015, también en Texcoco, Estado de México. En este rol, contribuí a la elaboración de Cartografía Digital y al Atlas Municipal de Riesgos.

Finalmente, entre noviembre de 2013 y septiembre de 2014, me desempeñé como Proyectista y Supervisor de Campo en AGROS Diseño y Construcción S de RL de CV, en Texcoco, Estado de México, donde fui responsable del diseño de sistemas de riego.

Mi formación académica y mi experiencia profesional me han permitido desarrollar habilidades técnicas y de gestión que considero esenciales para contribuir de manera significativa en el ámbito forestal y medioambiental. Estoy comprometida con la sostenibilidad y la conservación de los recursos naturales, y busco continuamente oportunidades para aplicar mis conocimientos en proyectos que generen un impacto positivo en el medio ambiente y en la sociedad.

RESUMEN GENERAL

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

La seguridad alimentaria en México enfrenta desafíos que podrían abordarse a través de la agricultura multifuncional, una estrategia clave para promover prácticas agrícolas sostenibles que aumenten la producción de alimentos y la conservación de los recursos naturales. Esta investigación aborda la seguridad alimentaria en cuatro dimensiones: disponibilidad, acceso, uso, y estabilidad de los alimentos, incluyendo la influencia del cambio climático. La disponibilidad fue evaluada integrando 19 variables, mientras que el acceso se analizó mediante datos de ocho variables, además del uso y la estabilidad con 10 y 15 variables respectivamente. Se integraron estas dimensiones para obtener un indicador de seguridad alimentaria a nivel municipal. Además, se proyectó al largo plazo con escenarios tendencial y de cambio climático. Los resultados revelaron que la disponibilidad no representa un problema en 90 % de los municipios, debido a condiciones ambientales y sociales adecuadas para la producción de alimentos. Sin embargo, se identificaron otras causas para la inseguridad alimentaria. Respecto al acceso, se encontró que 34.4 % de los municipios tienen bajo acceso físico, mientras que 40.6 % presentan un acceso económico medio, siendo la zona sur del país la más afectada por la baja accesibilidad. En cuanto al uso, se observó que 40 % de los municipios tienen un inadecuado consumo de alimentos. Respecto a la estabilidad alimentaria, se evidenció una disminución en 28 % de los municipios, atribuida a factores como el aumento de sequías y la pérdida de diversidad de cultivos. Se obtuvo que 45 % de los municipios enfrentaban problemas de seguridad alimentaria al año 2020, con una tendencia al aumento hasta alcanzar 51 % hacia el año 2100, bajo condiciones de cambio climático. Por último, se proponen 12 regiones vulnerables a la inseguridad alimentaria, permitiendo focalizar políticas y estrategias de intervención para mitigar los riesgos actuales y futuros.

Palabras clave: Vulnerabilidad climática; Análisis espacial; Sistema alimentario; Indicadores alimentarios; FAO.

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF FOOD SECURITY IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE IN MEXICO

Food security in Mexico faces challenges that could be addressed through multifunctional agriculture, a key strategy to promote sustainable agricultural practices that increase food production and conserve natural resources. This research addresses food security in four dimensions: food availability, access, utilization, and stability, including the influence of climate change. Availability was assessed by integrating 19 variables, while access was analyzed using data from eight variables, in addition to utilization and stability with 10 and 15 variables, respectively. These dimensions were integrated to obtain a food security indicator at the community level. In addition, long-term projections were made using trend and climate change scenarios. The results showed that availability is not a problem in 90% of the municipalities due to favorable environmental and social conditions for food production. However, other causes of food insecurity were identified. In terms of access, it was found that 34.4% of municipalities have low physical access, while 40.6% have medium economic access, with the southern part of the country being most affected by low accessibility. In terms of utilization, 40% of the municipalities were found to have inadequate food consumption. In terms of food stability, a decline was observed in 28% of municipalities, due to factors such as increased droughts and loss of crop diversity. It was found that 45% of communities will face food security problems in 2020, with a trend to increase to 51% by 2100 under climate change conditions. Finally, 12 regions vulnerable to food insecurity were identified, allowing for targeted policies and intervention strategies to mitigate current and future risks.

Keywords: Climate vulnerability; Spatial analysis; Food system; Food indicators; FAO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La seguridad alimentaria se define como el estado en el que todas las personas pueden obtener los alimentos que necesitan de manera oportuna y permanente, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y uso (FAO et al., 2020). Consta de cuatro dimensiones: disponibilidad, accesibilidad, uso y estabilidad en el tiempo para obtener alimentos (FAO, 2011). Por lo tanto, los problemas de la seguridad alimentaria se manifiestan de diferentes formas. Para algunos grupos de personas o regiones la inseguridad alimentaria está determinada por la falta de alimentos en cantidad, variedad y calidad suficiente. En otros lugares, puede haber comida, pero debido a restricciones económicas, de distribución y de otro tipo, no todos pueden obtenerlos (Torres-Lima et al., 2022). Además de factores ambientales culturales y sociales que agravan el problema (CONEVAL, 2010). En este sentido, para mantener su función y garantizar seguridad alimentaria, nutrición y medios de comunicación de millones de personas, el sistema agroalimentario debe aumentar la resiliencia ante cambios ambientales y socioeconómicos (Manikas et al., 2023). Por ejemplo, la vulnerabilidad de las poblaciones que dependen de la agricultura, la ganadería y los recursos naturales se ve exacerbada por el cambio climático, lo que afecta a su capacidad de adaptación y conduce a una mayor inseguridad alimentaria (Ahmed et al., 2023). Las prácticas agrícolas sostenibles, tales como, la agricultura multifuncional, que no solo se enfoca en la producción de alimentos, sino también en proporcionar servicios ambientales, sociales y económicos (Yadav et al., 2023), podrían mejorar la resiliencia, la productividad y reducir las emisiones para garantizar la seguridad alimentaria en medio de las variaciones climáticas (Rani & Reddy, 2023).

La agricultura multifuncional puede contribuir significativamente a mejorar la disponibilidad y accesibilidad de alimentos, así como a fortalecer la resiliencia de las comunidades agrícolas. Al diversificar las actividades agrícolas y adoptar prácticas sostenibles, se pueden crear sistemas agroalimentarios más robustos

que soporten mejor las fluctuaciones económicas y ambientales, asegurando así una mayor estabilidad en la seguridad alimentaria (Dasgupta et al., 2015).

Por lo tanto, esta investigación propone evaluar la vulnerabilidad que el cambio climático representa para la seguridad alimentaria futura, con el objetivo de identificar y dimensionar las regiones más vulnerables en México.

1.1. Antecedentes

Los problemas de seguridad alimentaria mundial afectan a una parte importante de la población mundial. Se estimó que para el año 2022, entre 691 y 783 millones de personas en el mundo enfrentaron hambre (FAO et al., 2023). Los factores que contribuyen a la inseguridad alimentaria incluyen el aumento de los precios de los alimentos, el crecimiento demográfico, los cambios en los patrones de consumo, los impactos del cambio climático en la producción de alimentos y la inversión inadecuada en infraestructura (Fyles & Madramootoo, 2016). La inestabilidad de los mercados internacionales exacerba la inseguridad alimentaria, lo que lleva a un mayor endeudamiento en los países orientados a la agricultura y requiere una mayor cooperación internacional para garantizar la seguridad alimentaria (Boliko, 2019).

Según Grimaccia y Naccarato (2019), en los países más desarrollados, la inseguridad alimentaria está principalmente vinculada a un bajo nivel educativo y la falta de empleo decente. Mencionan que, en los países menos desarrollados, el género tiene una influencia significativa, colocando a las mujeres en un mayor riesgo de inseguridad alimentaria. También, vivir en los suburbios de grandes ciudades incrementa el riesgo de inseguridad alimentaria, ya que estas áreas son especialmente vulnerables en todos los niveles de desarrollo.

En el caso de México, la inseguridad alimentaria surge de varios factores, pero resaltan los económicos y educativos. Se incluye un nivel socioeconómico bajo, ya que los hogares con menores recursos económicos tienen más probabilidades de experimentar inseguridad alimentaria (Betancourt-Núñez et al., 2023).

Además, entre los estudiantes universitarios mexicanos, la inseguridad alimentaria está significativamente asociada con factores como los bajos niveles educativos de los jefes de hogar, la autoadscripción a un grupo indígena, la asistencia a universidades públicas, los hogares encabezados por mujeres, la situación laboral reciente y los años académicos específicos en la universidad (Nava et al., 2022).

Según cifras del Consejo Nacional de Evaluación (CONEVAL) la cuarta parte de los hogares mexicanos sufren escases debido al acceso a los alimentos, y los más afectados viven en comunidades rurales (33.5 %), residen en municipios indígenas (36.5 %) y se ubican dentro del decil más bajo de la mediana en cuanto a ingresos (48.0 %) (Shamah-Levy et al., 2017). Esta situación resalta la urgencia de abordar la seguridad alimentaria en el país. México, como centro de origen y diversificación del maíz, enfrenta un desafío significativo, ya que el maíz es un cultivo esencial para la alimentación local. Por lo que los impactos negativos en su rendimiento podrían tener importantes consecuencias para la seguridad alimentaria local y regional a causa del cambio climático (Ureta et al., 2020). Por lo que, la diversificación de los cultivos es importante para mejorar la seguridad alimentaria y de los medios de vida, adaptarse al cambio climático y conservar y proteger los recursos naturales. Mediante proyecciones de cambio climático que realizaron Arce et al. (2020), se observaron disminuciones en los rendimientos de cultivos como maíz, frijol, trigo, soya, sorgo, cebada y papa debido a una menor cantidad y distribución de la lluvia. En climas cálidos y secos, el rendimiento del maíz podría reducirse hasta en un 84 %; el frijol podría disminuir entre un 10 % y un 40 % en el norte del país, y en el noroeste se espera una reducción del 15 % en el rendimiento del trigo. La soya podría beneficiarse con incrementos de entre un 15 % y un 40 %. El sorgo y la papa se anticipa que tendrán disminuciones, mientras que la cebada podría aumentar o disminuir su rendimiento dependiendo de la región (Arce et al., 2020).

Algunos otros estudios centrados en analizar las condiciones de seguridad alimentaria en México han adoptado el esquema de los pilares propuestos por

FAO (2011) para su evaluación (Aguilar-Estrada et al., 2019; Díaz-Carreño et al., 2016; Shamah-Levy et al., 2017; Urquía-Fernández, 2014). Abordan desde un pilar hasta tres pilares de seguridad alimentaria, empleando diferentes métodos como la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA) y metodologías propuestas por la FAO. Se han considerado escalas nacionales principalmente y bajo el uso de diferentes variables como población total del país, aspectos sociodemográficos, la inflación de los alimentos, la tasa de crecimiento del índice nacional de precios al consumidor (INPC), la escolaridad, crecimiento del PIB, disponibilidad de comida, desigualdad de estructura agraria, marginación, entre otros.

De acuerdo con estos estudios, la oferta de energía alimentaria disponible en el país sobrepasa los requerimientos para cubrir la demanda de su población. Sin embargo, se encontraron deficiencias en el acceso a los alimentos. Por lo que la dimensión de acceso económico podría representar el problema más importante en el tema de seguridad alimentaria de los hogares mexicanos.

Algunos resultados señalan que los estados que presentan problemas con la seguridad alimentaria en México son Guerrero, Michoacán, Tabasco, Campeche, y Chiapas. Mientras que los estados como Querétaro, Jalisco, Yucatán y Nuevo León se encuentran en mejores condiciones (Díaz-Carreño et al., 2016). Según la Escala Latinoamericana y del Caribe de Seguridad Alimentaria (ELCSA), el 41.6 % de los hogares mexicanos se encuentra en inseguridad alimentaria (IA) leve, el 17.7 % en IA moderada y el 10.5 % en IA severa. Bajo este esquema, los estados con mayores niveles de IA moderada y severa son Tabasco (49.0 %), Guerrero (44.0 %), Chiapas (38.9 %), Oaxaca (38.6 %) y Campeche (35.9 %). En contraste, los estados con menor proporción de IA moderada y severa son Chihuahua (20.8 %), Jalisco (20.7 %) y Querétaro (20.2 %) (Shamah-Levy et al., 2012).

1.2. Planteamiento del problema de investigación

El problema que se plantea en esta investigación es el siguiente: ¿Cuál es el estado actual de las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria (disponibilidad, acceso, uso y estabilidad), evaluadas a escala municipal a través de indicadores, y si estas definen alguna vulnerabilidad de la seguridad alimentaria en el contexto del cambio climático en México?

1.3. Justificación

México carece de estrategias nacionales pertinentes en temas de alimentación que aseguren la seguridad alimentaria de su población. Como resultado, los efectos del cambio climático impondrán riesgos significativos para la seguridad alimentaria, tanto de manera directa como indirecta.

En el país, las diferentes fuentes oficiales que generan información y estadísticas, así como diversas investigaciones desarrolladas en el tema, ofrecen una gran cantidad de datos e información disponible. Sin embargo, este conocimiento está disperso en muchas ubicaciones y se ha generado para propósitos diferentes. A pesar de que existen investigaciones anteriores que se han enfocado en el estudio de la seguridad alimentaria en el país, aún queda el vacío de cuál es la raíz del problema y donde enfocar los esfuerzos para erradicarlo.

Generar un indicador de la seguridad alimentaria bajo un enfoque holístico, a escalas pequeñas y con el uso de las variables adecuadas, proporcionará información para identificar el origen de este problema, y con ello la vulnerabilidad a los cambios en el clima para mitigar los riesgos en el futuro.

Lo anterior debido a que México es un país con una gran diversidad, lo que provoca que los efectos del cambio climático no se distribuyan de manera homogénea. Cada municipio posee condiciones propias en términos de variabilidad de precipitaciones, temperaturas extremas, y fenómenos meteorológicos adversos como sequías e inundaciones. Además, las condiciones socioeconómicas varían ampliamente entre los municipios.

Un análisis detallado a nivel municipal proporciona datos cruciales para la formulación de políticas públicas. Esto facilita la asignación de recursos de manera más equitativa y eficiente, garantizando que las medidas de seguridad alimentaria estén alineadas con las realidades locales y las necesidades específicas de cada municipio.

Por lo tanto, evaluar e identificar qué regiones son vulnerables, representa un desafío. Debido a que los sistemas alimentarios se encuentran en constante evolución, esto requiere de un adecuado análisis y procesamiento de datos existentes.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. General

- Evaluar la vulnerabilidad que el cambio climático significa sobre la seguridad alimentaria futura mediante el análisis de tendencias espaciales que permitan dimensionar las regiones vulnerables en México.

1.4.2. Particulares

- i. Identificar un conjunto de variables clave de seguridad alimentaria mediante la revisión de marcos conceptuales y enfoques metodológicos, como base para medir las dimensiones de seguridad alimentaria en México.
- ii. Medir las dimensiones de seguridad alimentaria: disponibilidad, acceso físico y económico, uso y estabilidad de los alimentos, a escala municipal, a partir de variables y cartografía que permitan dimensionar la gravedad del problema actual.
- iii. Analizar la vulnerabilidad y el riesgo del cambio climático para los municipios de México mediante escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas, para determinar el impacto futuro sobre la seguridad alimentaria mexicana.
- iv. Identificar las regiones vulnerables a la inseguridad alimentaria en contexto de cambio climático en México mediante el análisis estadístico

espacial, para proporcionar información para el diseño e implementación de políticas y estrategias dirigidas a fortalecer la resiliencia del sistema alimentario mexicano.

1.5. Alcance de la investigación en la ruta cuantitativa

De acuerdo con lo propuesto por Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2018), la presente investigación comenzó con un alcance exploratorio, se indagó el estado del conocimiento sobre la seguridad alimentaria en México e identificando variables relevantes para su medición. La investigación avanzó hacia un alcance descriptivo al evaluar espacialmente estas variables para determinar la situación actual de la seguridad alimentaria en los municipios del país. Además, se incorporó un enfoque correlacional al analizar la vulnerabilidad al cambio climático y su impacto en la seguridad alimentaria, estableciendo relaciones entre ambos fenómenos. Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se exploró las causas de la inseguridad alimentaria en México y se evaluó la posible afectación futura del cambio climático sobre esta, y se situó el alcance principal del estudio en el ámbito explicativo. Así, aunque la investigación abarcó múltiples alcances, su enfoque principal fue explicativo, dado que buscó entender las causas y efectos de la inseguridad alimentaria en el contexto del cambio climático.

1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. General

- La evaluación de las tendencias espaciales indicará que el sur de México es más vulnerable a la seguridad alimentaria tanto actual como futura.

1.6.2. Particulares

- i. La revisión de marcos conceptuales y enfoques metodológicos permitirá identificar un conjunto de variables clave que reflejen con precisión las dimensiones de la seguridad alimentaria en México.

- ii. Las mediciones a escala municipal revelarán contrastes significativos en diferentes zonas del país, indicando que los problemas de seguridad alimentaria en México se deben principalmente al acceso tanto físico como económico a los alimentos.
- iii. Los escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas mostrarán que los municipios con menor desarrollo socioeconómico son más vulnerables a los impactos del cambio climático, lo que resultará en un aumento de la inseguridad alimentaria futura en estas áreas.
- iv. El análisis estadístico espacial identificará regiones al sur del país que son altamente vulnerables a la seguridad alimentaria debido al cambio climático.

1.7. Viabilidad del estudio

Si bien es cierto que la seguridad alimentaria y el cambio climático han sido estudiadas desde diferentes enfoques y con diferentes metodologías, no se termina de comprender a ciencia cierta, cual es el origen de la inseguridad alimentaria que presenta el país y cuál será el efecto que el cambio climático tenga sobre ella. Dada la amplitud del tema, para lograr un mayor acercamiento a su medición, es necesario hacer uso de los datos disponibles con los que se cuenta. Esto nos da un alcance mucho mayor de la investigación y por ende muchos más recursos necesarios. Ahora bien, estos recursos los tenemos disponibles en su mayoría, en diferentes repositorios, fuentes de datos e investigaciones anteriormente realizadas. Sin embargo, las escalas son variables y no toda la información requerida se encuentra disponible, de modo que, la investigación se adecua a su disponibilidad en la escala requerida. Aún con estas deficiencias es posible llegar a obtener los resultados esperados.

1.8. Deficiencias en el conocimiento del problema

Se cuenta con antecedentes sólidos tanto en el estudio de la seguridad alimentaria como de los efectos del cambio climático sobre el país. Sin embargo, siguen quedando vacíos a la hora de dar respuesta, del porqué México sufre de inseguridad alimentaria y cuáles serán los efectos del cambio climático a largo

plazo en las diferentes regiones del país. De modo que, aún se tienen deficiencias en cuanto a la resolución del problema y por ende a la hora de proponer estrategias para erradicar el hambre, que difícilmente llegan a buen término. Por lo que las nuevas perspectivas a explorar son considerar medir a escalas más pequeñas. Esto con el fin de analizar las condiciones propias de cada lugar y con la integración de diferentes variables que nos permitan una investigación integral del tema.

1.9. Contenido temático

La introducción general (Capítulo 1) hace referencia a un contexto amplio del tema de investigación, abarcando conceptos generales que es necesario conocer en el tema que aborda el documento. Aquí se incluyen los antecedentes del tema, el planteamiento del problema, la justificación del estudio, los objetivos a cumplir, las preguntas de investigación, así como las hipótesis. Mientras que el marco teórico y de referencia, presentado en el segundo capítulo, engloba una serie de publicaciones enfocadas al estudio del tema en cuestión en forma resumida, abarcando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones, de tal manera que permite crear un aspecto general del avance en el estudio del tema. Los capítulos 3, 4, 5, 6 y 7 se presentan a manera de artículos científicos, donde se plasman los resultados del desarrollo de la investigación. Finalmente, en el capítulo 8 se muestran las conclusiones generales de la tesis (Figura 1).

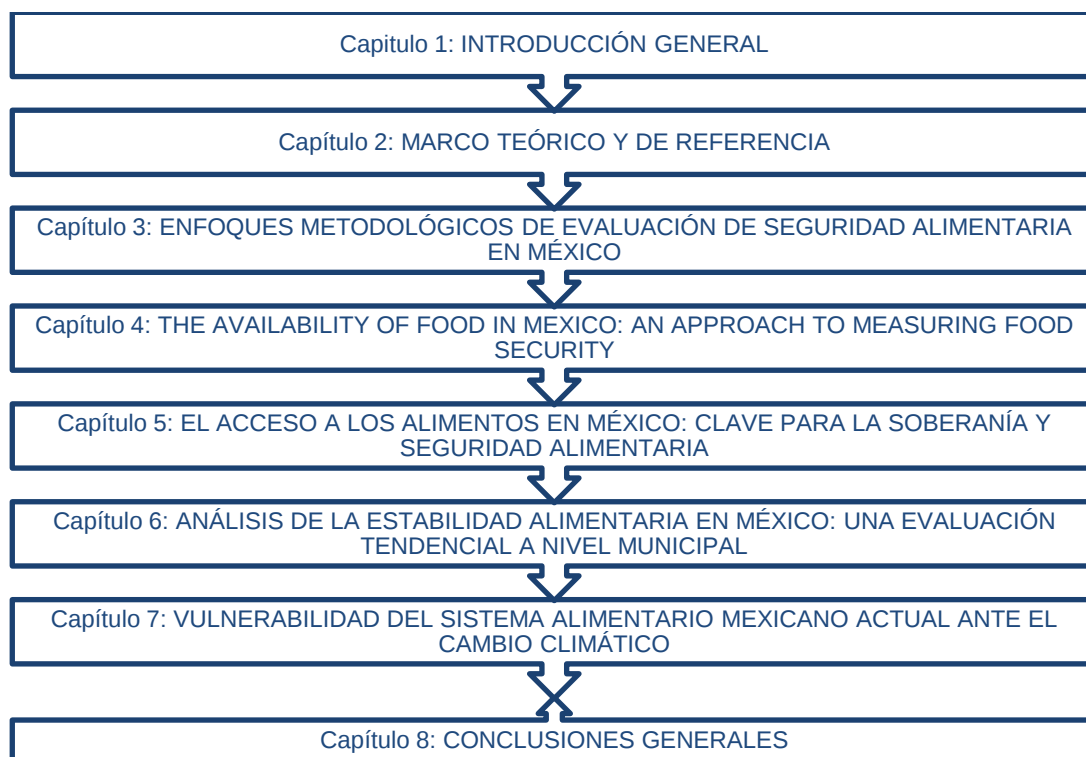


Figura 1. Estructura del contenido del documento de titulación

1.10. Literatura citada

- Aguilar-Estrada, A. E., Caamal-Cauich, I., Barrios-Puente, G., & Ortiz-Rosales, M. Á. (2019). ¿Hambre en México? Una alternativa metodológica para medir seguridad alimentaria. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.625>
- Ahmed, A., Elbushra, A., & Elrasheed, M. (2023). Implications of Climate Change on Agriculture and Food Security. In A. A. Abul-Soad & J. M. Al-Khayri (Eds.), *Cultivation for climate change resilience* (Volume 1, chapter 1, , 26 p.). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429055584-2/implications-climate-change-agriculture-food-security-adam-ahmed-azharia-elbushra-mutasim-elrasheed>
- Arce Romero, A., Monterroso Rivas, A. I., Gómez Díaz, J. D., Palacios Mendoza, M. Á., Navarro Salas, E. N., López Blanco, J., & Conde Álvarez, A. C. (2020). Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera*, 33(3), 215–231. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/ATM.52430>
- Betancourt-Núñez, A., Nava-Amante, P. A., Bernal-Orozco, M. F., Vizmanos, B., Vargas-García, E. J., Márquez-Sandoval, F., Salas-García, M. A., & Díaz-López, A. (2023). Food insecurity was negatively associated with adherence to the “fruits, vegetables, and foods rich in animal protein” dietary pattern among university

- students' households: the 2018 Mexican National Household Survey. *BMC Public Health*, 23(1), 854. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15755-z>
- Boliko, M. C. (2019). FAO and the situation of food security and nutrition in the world. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65, S4–S8. <https://doi.org/10.3177/jnsv.65.S4>
- CONEVAL. (2010). Dimensiones de la seguridad alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto. In Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/info_public/pdf_publicaciones/dimensiones_seguridad_alimentaria_final_web.pdf
- Dasgupta, P., Goswami, R., Ali, N., Chakraborty, S., & Saha, S. K. (2015). Multifunctional role of integrated farming system in developing countries. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 6(3), 424. <https://doi.org/10.5958/0976-4038.2015.00057.3>
- Díaz-Carreño, M. Á., Sánchez-León, M., & Díaz-Bustamente, A. (2016). Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus principales determinantes. *Economía, Sociedad y Territorio*, 16(51), 459–483. <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v16n51/2448-6183-est-16-51-00459.pdf>
- FAO. (2011). *Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones*. FAO. <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2020). Versión resumida del estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. In Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum*. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Fyles, H., & Madramootoo, C. (2016). 1 - Key drivers of food insecurity. In C. Madramootoo (Ed.), *Emerging technologies for promoting food security* (pp. 1–19). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-335-5.00001-9>
- Grimaccia, E., & Naccarato, A. (2019). Food insecurity individual experience: A comparison of economic and social characteristics of the most vulnerable groups in the world. *Social Indicators Research*, 143(1), 391–410. <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1975-3>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>

- Manikas, I., Ali, B. M., & Sundarakani, B. (2023). A systematic literature review of indicators measuring food security. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00415-7>
- Nava, N. J., Wood, B. D. K., & Garduño-rivera, R. (2022). Quantifying the food insecurity needs from the price escalations among Mexican households. *Research Square*, 1–18. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1949593/v1>
- Rani, P., & Reddy, R. G. (2023). Climate change and its impact on food security. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(3), 104–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i31687>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Flores-De la Vega, M. M., & Luiselli-Fernández, C. (2017). Food security governance in Mexico: How can it be improved? *Global Food Security*, 14, 73–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.05.004>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Rivera-Dommarco, J., Cuevas-Nasu, L., Morales-Ruán, C., Pérez-Escamilla, R., Melgar-Quíñonez, H., Ortega, J., Rivera, A., & Flores, M. (2012). Evidencia para la política pública en salud. Distribución de la inseguridad alimentaria: evidencia para intervenciones diferenciadas. Ensanut, 2–5. [/https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/analiticos/InseguridadAlim.pdf](https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/analiticos/InseguridadAlim.pdf)
- Torres-Lima, P., Conway-Gómez, K., & Torres-Vega, P. (2022). Agriculture-food nexus. The paradox of sustainable development in Mexico. In W. Leal Filho, M. Kovaleva, & E. Popkova (Eds.), *Sustainable agriculture and food security* (pp. 17–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9_2
- Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., & Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, Article 102697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Publica de Mexico*, 56(SUPPL.1), 92–98. <https://doi.org/10.21149/spm.v56s1.5171>
- Yadav, A., Manekiya, M., Ahmad, T., & Khan, M. A. (2023). Adopting sustainable agriculture practices in developing nations using CBRS. 2023 IEEE 8th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICETAS59148.2023.10346517>

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA

En el ámbito de la seguridad alimentaria se observan diversos enfoques a nivel nacional, local, regional, urbano y rural. No obstante, el principal propósito y desafío de las políticas de seguridad alimentaria, radica en establecer condiciones que faciliten a las personas acceder a alimentos saludables y suficientes, así como garantizar una demanda adecuada de ellos en los mercados correspondientes (FAO, 2011). Este reconocimiento abarca tanto aspectos individuales como estructurales a niveles micro y macro (Pérez Vázquez et al., 2018). La seguridad alimentaria se vincula con la producción local de alimentos y economías que apuntan hacia el mercado exterior (FAO et al., 2022).

En este contexto, la agricultura multifuncional desempeña un papel crucial en la mejora de la seguridad alimentaria. Proporciona múltiples beneficios más allá de la producción primaria, como el mantenimiento de los recursos hídricos y del suelo, el apoyo a los medios de vida rurales y la promoción del desarrollo sostenible (Zhen et al., 2017). Se reconoce como un enfoque sostenible que hace hincapié en la interconexión entre los agroecosistemas, el medio ambiente natural y el desarrollo socioeconómico, contribuyendo a mejorar la seguridad alimentaria y los medios de vida (Simelton & Ostwald, 2019).

Por su parte, la soberanía alimentaria es un paradigma transformador que enfatiza el derecho de las personas a definir sus propios sistemas alimentarios y agrícolas, considerando los alimentos como un derecho humano básico en lugar de una mercancía. Implica la relocalización, las prácticas agroecológicas y la priorización del consumo interno sobre el comercio de larga distancia, con el objetivo de reconstruir sistemas agroalimentarios sostenibles y equitativos (Edelman, 2024).

La soberanía alimentaria se fortalece mediante la agricultura familiar, *que se caracteriza por su enfoque en la autosuficiencia alimentaria y la diversificación* (Sciandro Larriera, 2022), y la agricultura campesina, *que incluye el manejo de*

animales para diversos fines como alimentos, ingresos y transporte dentro de un entorno familiar (Dyer, 2022). Ambas formas de agricultura promueven el control de los pequeños productores sobre la tierra y los territorios, mejoran la agrobiodiversidad y reducen la dependencia de insumos externos (Verdugo et al., 2023). Además del incremento de la producción de alimentos a nivel nacional mediante el uso de tecnologías que no dependen de insumos externos ni de maquinaria y tecnología importadas (Ramírez García et al., 2017). Esto incluye la sustitución de alimentos importados y la mejora en el acceso a la tierra y a productos alimenticios nacionales (Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 2015).

La agricultura familiar y campesina se caracteriza por combinar metas de producción y consumo, formando modelos como granjas laborales, granjas basadas en mano de obra asalariada y corporaciones familiares, enfatizando los lazos familiares y las contribuciones laborales (Svynous et al., 2020).

Asimismo, la soberanía alimentaria tiene como objetivo incrementar las oportunidades de ingresos y empleo para los pequeños productores, mediante la descentralización y redistribución de los programas de reforma agraria. Así como la creación de mercados locales, que permitan a los agricultores familiares vender sus productos y adquirir otros bienes básicos en negocios locales (Val et al., 2019).

Ambos términos (seguridad y soberanía) brindan una perspectiva multidimensional. Sin embargo, la seguridad alimentaria es un concepto imparcial, no prejuzga la concentración y el diseño del mercado internacional, sino que busca promover mejores prácticas agrícolas que puedan coexistir para alimentar a la población (Mariscal Méndez et al., 2017). Aunque la soberanía alimentaria no es opuesto ni sustituye a la seguridad alimentaria, ambas concepciones están interrelacionados y se complementan entre sí. Su componente basado en restaurar la capacidad más sostenible de los pequeños productores de alimentos para el consumo nacional se acerca más a la seguridad alimentaria en términos de diseño de políticas públicas (Botella Rodríguez, 2018).

La seguridad alimentaria, según la define la FAO (2011), implica el acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan las necesidades dietéticas para una vida activa y saludable. La FAO juega un papel esencial en la mejora de la seguridad alimentaria global al promover la productividad agrícola, el aumento de los niveles de nutrición y la mejora de las condiciones de vida en las zonas rurales (de Pee & Pérez-Escamilla, 2023). Entre los esfuerzos se incluyen la diversificación de medios de vida, la provisión de escuelas de campo para agricultores y la distribución de semillas para fortalecer la seguridad alimentaria en regiones específicas (Aduloju et al., 2022). Además, la FAO subraya la necesidad de abordar aspectos más allá de la producción agrícola, como la gobernanza de la ganadería y la pesca, el desarrollo de las economías rurales, y la mejora de la educación y la comunicación, para asegurar una seguridad alimentaria global integral (Paleri, 2022).

De acuerdo con varios estudios, el nivel socioeconómico y educativo está relacionado con la disponibilidad de alimentos en el hogar, siendo de los principales contribuyentes (Chai et al., 2018; Leisner, 2020). Así pues, las poblaciones que sufren inseguridad alimentaria enfrentan desafíos para tomar decisiones saludables por una variedad de razones: acceso limitado a alimentos saludables, recursos financieros limitados, falta de conocimientos sobre alimentos y nutrición, etc., (Barone et al., 2020).

Como en otras naciones emergentes, la tensión en México está aumentando entre los imperativos de lograr la seguridad alimentaria. Durante los últimos 20 años, existen 3,140 kcal de alimentos disponibles por habitante y por día, sin embargo, el 13.6 % de los niños menores de cinco años sufren desnutrición crónica y cerca de 35 mil han perdido la vida a causa de este problema. Según registros oficiales, entre 2018 y 2022, el porcentaje de la población en situación de pobreza multidimensional a nivel nacional disminuyó del 41.9 % al 36.3 %. En el mismo período, el porcentaje de la población con un ingreso inferior a la Línea de Pobreza por Ingresos (valor monetario de la canasta alimentaria más la canasta no alimentaria) pasó del 49.9 % al 43.5 % (CONEVAL, 2022).

2.1. Dimensiones de seguridad alimentaria

En 1943, se convocó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Alimentación y la Agricultura en el contexto de la posguerra. En la conferencia surgió el compromiso de establecer una organización permanente, que finalizó con el establecimiento de la FAO el 16 de octubre de 1945. Fue allí donde se concibió el concepto de Seguridad Alimentaria debido a la crisis alimentaria mundial provocada por el aumento de los precios internacionales (De Los Milagros Avilleira et al., 2021).

En la Cumbre Mundial sobre la Alimentación de 1974, la atención se centró en el suministro y la estabilidad de los precios de los alimentos, destacando la cantidad y la estabilidad de la oferta (Acevedo, 2022). Durante la década de 1980, influenciada por la teoría de los derechos de Amartya Sen (1983), el enfoque se amplió para incluir la seguridad alimentaria y el acceso a activos productivos y oportunidades de empleo para las familias pobres. Así, el acceso a los alimentos se incorporó como un componente crucial de la seguridad alimentaria. Posteriormente, en 1986, un informe del Banco Mundial titulado "Pobreza y hambre" introdujo la dinámica temporal de la inseguridad alimentaria (IA), diferenciando entre la IA crónica, asociada con la pobreza persistente o estructural y los problemas de bajos ingresos, y la IA transitoria, que se refiere a periodos de presión aumentada causados por desastres naturales, conflictos o colapsos económicos (De Los Milagros Avilleira et al., 2021). A modo que el concepto de seguridad alimentaria ha quedado definido como:

“Hay seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana” (FAO, 2011).

Según esta definición, se pueden determinar cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria: disponibilidad de alimentos, acceso físico y económico a los mismos,

utilización de los alimentos y estabilidad (vulnerabilidad y perturbaciones) a lo largo del tiempo. Las dimensiones se consideran pilares producidas por variables complejas o descomposición estructural, mientras que los indicadores son unidades de medida que permiten el estudio o cuantificación de variables o sus dimensiones (García Urdaneta & Pérez González, 2016).

2.1.1. Disponibilidad de alimentos

La disponibilidad está determinada por la existencia oportuna de alimentos, incluida la producción interna, almacenamiento, importación, exportación y ayuda alimentaria de productos primarios y productos industrializados. Esta dimensión refleja el lado de la oferta del concepto de seguridad alimentaria y generalmente se evalúa a nivel nacional (Salcedo-Baca, 2005). En los últimos años durante décadas, la tasa de crecimiento del suministro de alimentos ha superado la tasa de crecimiento de la población de los países en desarrollo, lo que ha provocado un aumento del suministro de alimentos per cápita. La tasa de crecimiento del suministro de energía alimentaria también es más rápida que la demanda media de energía alimentaria, para alcanzar el nivel de energía suficiente (FAO, 2011).

2.1.2. Acceso físico y económico

La capacidad de acceder a los alimentos se basa en dos pilares, el acceso económico y el acceso físico. Refiriéndose a cómo las personas obtienen los alimentos que consumen y se refiere al acceso económico y material (FAO-FIDA-PMA, 2012).

El acceso económico a los alimentos depende de la disponibilidad de ingresos, los precios de los alimentos y el apoyo social. Por otro lado, el acceso físico está determinado por la disponibilidad y calidad de la infraestructura, como puertos, carreteras, líneas ferroviarias, instalaciones de transporte, y sistemas de intercambio y almacenamiento de alimentos. Mejorar el acceso económico a los alimentos se puede reflejar en la reducción de la tasa de pobreza, la disminución de los precios de los alimentos y el aumento del poder adquisitivo de la población (FAO, 2011).

2.1.3. Uso de los alimentos

La utilización o desarrollo biológico se vincula con las condiciones básicas de salud, como la prevalencia de enfermedades infecciosas y el acceso a un entorno saludable, viviendas adecuadas y agua potable. Además, son factores cruciales la educación en nutrición, la calidad y seguridad de los alimentos, los hábitos de consumo de alimentos nutritivos y las prácticas de preparación y consumo que maximicen el valor nutricional de los alimentos (García Urdaneta & Pérez González, 2016).

La manera en que se manipulan, procesan y almacenan los alimentos también influye en su utilización. La salud física es crucial para la absorción efectiva de los nutrientes por parte del cuerpo humano, y la higiene alimentaria desempeña un papel clave en el mantenimiento de una buena salud. Además, contar con agua limpia es fundamental para la preparación de alimentos seguros y saludables, contribuyendo así a mantener la salud en general (FAO & OMS, 2007).

2.1.4. Estabilidad de los alimentos

La dimensión de la estabilidad alimentaria se está situando cada vez más en el contexto del cambio climático y se enfoca en asegurar un suministro y acceso a alimentos estables a largo plazo.

La frecuencia y la intensidad de los eventos climáticos extremos, como olas de calor, precipitaciones intensas, sequías y ciclones tropicales, están en constante cambio. Desde la década de 1950, se ha registrado un aumento en la frecuencia e intensidad de episodios de calor extremo, incluyendo olas de calor, en la mayoría de las regiones terrestres. En contraste, los fenómenos de frío extremo, como las olas de frío, se han vuelto menos frecuentes y menos intensos. La frecuencia y la intensidad de las precipitaciones intensas también han aumentado desde la década de 1950 en gran parte de las regiones continentales. Además, la proporción global de ciclones tropicales de mayor intensidad (categorías 3 a 5) ha aumentado en las últimas cuatro décadas (IPCC, 2021). Además, los patrones climáticos han sido impredecibles, lo que ha provocado importantes pérdidas en

la producción y menores ingresos en las zonas vulnerables. Además han provocado un aumento de los precios de los alimentos y sus fluctuaciones (Islam & Kieu, 2021). Estos cambios repentinos afectan directamente la estabilidad alimentaria.

2.2. Medición de la seguridad alimentaria

Medir la complejidad de la seguridad alimentaria es parte del debate más amplio que se está llevando a cabo actualmente en la formulación de la agenda para el desarrollo después de 2015. Se puede asumir que un conjunto de indicadores que pueden evaluar una o más dimensiones o aspectos específicos de una dimensión pueden denominarse: métodos, medidas o herramientas (García Urdaneta & Pérez González, 2016).

Los métodos más utilizados para evaluar la seguridad alimentaria suelen estar diseñados para enfocarse en una dimensión o ciertas combinaciones de ellas. Mientras que requieren un nivel nacional, regional, familiar y / o individual. Se destacan una pequeña cantidad de métodos, incluido el Índice de prevalencia de la desnutrición de la FAO, las encuestas de hogares, las percepciones de los hogares sobre la IA y la evaluación antropométrica del estado nutricional (Pérez-Escamilla et al., 2004).

2.3. Seguridad alimentaria en contexto del cambio climático

En México, el desarrollo agrícola representa una oportunidad crucial para abordar importantes desafíos globales, como la erradicación de la pobreza extrema, la promoción de la prosperidad y la satisfacción de las necesidades alimentarias futuras. La agricultura es fundamental para el crecimiento económico del país y desempeña un papel significativo en el aumento de los ingresos de las personas más pobres. Sin embargo, el crecimiento del sector agrícola, la erradicación de la pobreza y la seguridad alimentaria enfrentan amenazas significativas, como el cambio climático, que afecta la productividad agrícola y la disponibilidad de agua; la degradación del suelo, que reduce la capacidad de producción; y las

fluctuaciones en los precios de los alimentos, que afectan el acceso y la estabilidad alimentaria (Nieto & Reyes, 2019).

De todas las actividades relacionadas con la seguridad alimentaria, la agricultura es quizás la más influenciada por las fluctuaciones de las condiciones climatológicas (FAO, 2018). En cualquier región del planeta el desarrollo y la forma en que se lleva a cabo la actividad agrícola y ganadera, siempre han estado asociados al clima de la zona en donde se desarrollan (Zárate Malpica & Miranda Zambrano, 2017). Esta relación ha influido en el tipo de cultivos, los métodos de explotación, las construcciones rurales y, en general, el estilo de vida de las comunidades agrícolas. Esto es resultado de la experiencia, la adaptación humana a su entorno y la transmisión del conocimiento agrícola de generación en generación. (Torres-Lima et al., 2022).

Los ecosistemas terrestres y la biodiversidad son especialmente vulnerables al cambio climático en curso debido a varias razones. Primero, los cambios en las temperaturas y patrones de precipitación alteran los hábitats naturales, afectando la distribución y la supervivencia de muchas especies. Las temperaturas más altas pueden provocar eventos extremos como incendios forestales y sequías, que dañan directamente los hábitats y reducen la disponibilidad de recursos para las especies (IPCC, 2021).

La expansión de áreas bajo agricultura y silvicultura, incluida la producción comercial, y la mejora de la productividad agrícola y forestal, han respaldado el consumo y la disponibilidad de alimentos para una población en crecimiento (IPCC, 2019). De acuerdo con la FAO, para el año 2050 se prevé un incremento del 60 al 100 % en la demanda de los productos para la alimentación humana (FAO, 2009). Esto debido al actual crecimiento demográfico que sobrepasó 8.1 mil millones de personas (ONU, 2024).

El sistema alimenticio actual está relacionado con enormes emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) de las actividades agrícolas, principalmente de la fermentación entérica de rumiantes, la producción de arroz con cáscara y uso de

combustibles fósiles para el cultivo del suelo (Theurl et al., 2020). El 23% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) provienen de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). Mientras que, la deforestación, debido al cambio de uso del suelo para la actividad agrícola y ganadera emitieron en 2020 2,64 gigatoneladas de CO₂ a la atmósfera (IPCC, 2022).

Para el 2050, se prevé que el aumento de la riqueza dará como resultado la adopción de dietas más ricas con más productos ganaderos, agravando los efectos del cambio climático (FAO, 2018). El aumento de la demanda de forraje y la intensificación de las áreas de pastoreo es un determinante clave de muchos impactos ambientales.

Las proyecciones de cambio climático para México, asociadas con el calentamiento global crean aumentos de temperatura de 2°C a 4°C para 2080. Así como variaciones en las precipitaciones de +10 % a -20 % para 2050, y disminuciones de las precipitaciones del 5 % al 30 % para el 2080 (Orduño Torres et al., 2020).

A pesar de que dichas proyecciones climáticas son muy heterogéneas en términos de precipitación dependiendo del área geográfica evaluada, existe una tendencia general de aumento de temperatura en México (Ureta, et al., 2020). En este contexto, es probable que los riesgos de sequía relacionados con la duración y la intensidad aumenten en muchas regiones, por lo que es importante la evaluación de vulnerabilidad en condiciones locales para el país.

La seguridad alimentaria en México está en riesgo de verse significativamente afectada por el cambio climático. Con un aumento en las temperaturas y cambios en los patrones de precipitación, se prevé que los rendimientos de cultivos básicos como maíz, frijol y trigo disminuyan, lo que podría comprometer la disponibilidad de alimentos en el país (Arce-Romero et al., 2020). El IPCC (2022) indica que las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la agricultura y la deforestación, están directamente relacionadas con la

degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, afectando la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción agrícola.

Además, el informe de la FAO (2021) destaca que México, al igual que otros países en desarrollo, enfrenta desafíos adicionales debido a su alta vulnerabilidad a fenómenos climáticos extremos como sequías prolongadas e inundaciones, que pueden reducir drásticamente la productividad agrícola. Las proyecciones sugieren que, bajo escenarios de cambio climático, los rendimientos agrícolas podrían disminuir hasta en un 20% para 2050 (IPCC, 2022). Esta situación podría llevar a un incremento en los precios de los alimentos, afectando el acceso económico de las poblaciones más vulnerables. La preparación adecuada puede ayudar a asegurar que el país esté en una mejor posición para enfrentar las amenazas emergentes y proteger la seguridad alimentaria de sus ciudadanos.

2.4. Literatura citada

- Acevedo, D. (2022). Seguridad alimentaria: rehén de su origen histórico-conceptual y víctima de la miopía. *CONfinés de Ciencia Política y Relaciones Internacionales*, 17(33), 35–59. <https://doi.org/10.46530/cf.vi33/cnfns.n33.p35-59>
- Aduloju, A. A., Omolara, V. A., & Adedoyin, T. A. (2022). The Epistemic Communities, Food and Agriculture Organisation (FAO) and Food Security in the Third World. In *Agricultural Biotechnology* (p. 13). <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003268468-3/epistemic-communities-food-agriculture-organisation-fao-food-security-third-world-ayodeji-anthony-aduloju-victoria-akinyemi-omolara-temitayo-adedeji-adedoyin>
- Barone, A., Krummel, D. A., & Lee, S.-Y. (2020). Availability of Food Options and Nutrition Education in Local Food Pantries. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 52(5), 492–502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jneb.2019.12.013>
- Botella Rodríguez, R. (2018). Políticas agrarias, Seguridad Alimentaria y Nutricional y Soberanía Alimentaria: luces y sombras del caso cubano (1990-2015). *Mundo Agrario*, 19(42), e096. <https://doi.org/10.24215/15155994e096>
- Chai, W., Fan, J. X., & Wen, M. (2018). Association of Individual and Neighborhood Factors with Home Food Availability: Evidence from the National Health and Nutrition Examination Survey. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(5), 815–823. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jand.2017.11.009>

- Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. (2015). Vinculación de los pequeños productores con los mercados. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 1–8. <http://www.fao.org/3/a-bq853s.pdf>
- De Los Milagros Avilleira, I. C., Casanovas Cosío, E., & Suárez Del Villar Labastida, A. (2021). Food Safety: Evolution of the Concept and Its Expression in the Cuban Context. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 159–167. <https://orcid.org/0000-0003-3478-2306>
- de Pee, S., & Pérez-Escamilla, R. (2023). Food security. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition* (Fourth Edition) (Fourth Edi, pp. 306–315). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00067-6>
- Dyer, C. (2022). Peasant farming: Livestock and pasture. In *Peasants Making History: Living In an English Region 1200-1540*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198847212.003.0007>
- Edelman, M. (2024). Food Sovereignty: Forgotten Genealogies and Future Regulatory Challenges. In *Peasant Politics of the Twenty-First Century: Transnational Social Movements and Agrarian Change*. Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/cornell/9781501773440.003.0008>
- FAO (2021). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5dde834e-0ba2-47fa-96de-7298d0c51403/content/cb4474es.html>
- FAO, OPS, WFP y UNICEF. (2018). Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2018. Santiago. Número de páginas (133). Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. FAO, México. <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>
- FAO. (2018). Soluciones ganaderas para el cambio climático. Fao, 1–8. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwihjKH8-ezoAhVVA2MBHbArAh4QFjAAegQIARAB&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fi8098ES%2Fi8098es.pdf&usq=AOvVaw2HMqHMWDwQTXS7ZZ9Y2tVJ>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2022). Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. <https://doi.org/10.4060/cc0640es>
- FAO, & OMS. (2007). Análisis de Riesgos Relativos a la Inocuidad de los Alimentos. Estudio FAO Alimentación y Nutrición. <http://www.fao.org/3/a-a0822s.pdf>

- García Urdaneta, A. C., & Pérez González, J. J. (2016). Marco conceptual de la medición de seguridad alimentaria (SA): análisis comparativo y crítico de algunas métricas. *Agroalimentaria*, 22, 51–72. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199251019004>
- IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- IPCC. (2021). *Cambio Climático 2021: Bases físicas*. In *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- Islam, M. S., & Kieu, E. (2021). Climate change and food (in)security nexus. In *International Political Economy Series*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70753-8_2
- Leisner, C. P. (2020). Review: Climate change impacts on food security- focus on perennial cropping systems and nutritional value. *Plant Science*, 293, 110412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110412>
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., & Milera-Rodríguez, M. de la C. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83–95. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200001&lng=es&tlng=es.
- Mariscal Méndez, A., Adrián Ramírez Miranda, C., & Pérez Sánchez, A. (2017). análisis del medio rural Soberanía y Seguridad Alimentaria: propuestas políticas al problema alimentario. *ECONOMIA Y POLITICAS PUBLICAS*, 9–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.69.001>
- Monterroso-Rivas, A., & Gómez-Díaz, J. D. (2020). Vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria por cambio climático. In *Seguridad hídrica y alimentaria. Problemas globales, acciones locales* (1era ed., pp. 167-178. 193).
- Nieto, A. M., & Reyes, G. E. (2019). Seguridad alimentaria e importación de alimentos en América Latina y el Caribe entre 1992 y 2016. *Revista ESPACIOS*, 40(38), 1. <https://pure.urosario.edu.co/es/publications/seguridad-alimentaria-e-importaci%C3%B3n-de-alimentos-en-am%C3%A9rica-latín>
- Orduño Torres, M. A., Kallas, Z., & Ornelas Herrera, S. I. (2020). Farmers' environmental perceptions and preferences regarding climate change adaptation and mitigation actions; towards a sustainable agricultural system in México. *Land Use Policy*, 99, 105031. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105031>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. FAO, México. <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>
- Paleri, P. (2022). Food Security (Foodsec) (fs). In *Revisiting National Security: Prospecting Governance for Human Well-Being* (pp. 741–772). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8293-3_18
- Pérez-Escamilla, R., Segall-Correa, A. M., Kurdian, M. L., Sampaio, M., Marin-Leon, L., & Panigassi, G. (2004). An adapted version of the U.S. Department of Agriculture Food Insecurity module is a valid tool for assessing household food insecurity in Campinas, Brazil. *J Nutr*, 134(8), 1923–1928. <https://doi.org/10.1093/jn/134.8.1923>
- Pérez Vázquez, A., Leyva Trinidad, D. A., & Gómez Merino, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 175–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Ramírez García, A., Camiro Pérez, M., Ramírez Miranda, C., & Espejel García, A. (2017). La soberanía alimentaria. El enfoque desde los territorios y las redes agroalimentarias. *Sapientiae. Ciências Sociais, Humanas e Engenharias*, 2(2), 127–147. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572761144004>
- Salcedo-Baca, S. (2005). El marco teórico de la seguridad alimentaria. In *Políticas de seguridad alimentaria en los países de la Comunidad Andina*. <https://es.scribd.com/document/291605905/El-Marco-Teorico-de-La-Seguridad-Alimentaria>
- Sciandro Larriera, J. (2022). La agricultura familiar, un enunciado con múltiples contenidos. *Cuadernos Del CLAEH*, 41(116), 89–104. <https://doi.org/10.29192/claeh.41.2.6>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Flores-De la Vega, M. M., & Luiselli-Fernández, C. (2017). Food security governance in Mexico: How can it be improved? *Global Food Security*, 14, 73–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.05.004>
- Simelton, E., & Ostwald, M. (219 C.E.). *Multifunctional Land Uses in Africa. Sustainable Food Security Solutions* (1st Editio). <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429283666>
- Svynous, I., Havryk, O., & Byba, V. (2020). THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF CREATION AND FUNCTIONING OF FARMS. *INNOVATIVE ECONOMY*, 0(1-2), 65-72. doi:<https://doi.org/10.37332/2309-1533.2020.1-2.10>
- Theurl, M. C., Lauk, C., Kalt, G., Mayer, A., Kaltenegger, K., Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., Domingos, T., Winiwarter, W., Erb, K.-H., & Haberl, H. (2020). Food systems in a zero-deforestation world: Dietary change is more important than

intensification for climate targets in 2050. *Science of The Total Environment*, 735, 139353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139353>

- Torres-Lima, P., Conway-Gómez, K., & Torres-Vega, P. (2022). Agriculture-Food Nexus. The Paradox of Sustainable Development in Mexico. In W. Leal Filho, M. Kovaleva, & E. Popkova (Eds.), *Sustainable Agriculture and Food Security* (pp. 17–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9_2
- Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., & Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- Val, V., Rosset, P. M., Zamora Lomelí, C., Giraldo, O. F., & Rocheleau, D. (2019). Agroecology and La Via Campesina I. The symbolic and material construction of agroecology through the dispositive of “peasant-to-peasant” processes. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(7–8), 872–894. <https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.81339>
- Verdugo, G., Cuadrado, G., & Castillo, Y. (2023). Family Farming as a Contribution to Food Sovereignty, Case Guarainag Parish. *Agriculture*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/agriculture13091827>
- Zárate Malpica, A. H., & Miranda Zambrano, G. A. (2017). Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.371>
- Zhen, L., Sheng, W., Wang, C., & Zhang, L. (2017). Multifunctional Agriculture and the Relationship Between Different Functions. In L. Zhang & K. Schwärzel (Eds.), *Multifunctional Land-Use Systems for Managing the Nexus of Environmental Resources* (pp. 53–67). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54957-6_4

CAPÍTULO 3. ENFOQUES METODOLÓGICOS DE EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO

Methodological Approaches to Food Security Assessment in Mexico

Artículo publicado

Yadihra Cruz-Sánchez, Julio Baca del Moral, Adán Guillermo Ramírez García, & Alejandro I. Monterroso-Rivas. 2022. Enfoques metodológicos de evaluación de seguridad alimentaria en México. Revista de Filosofía, Centro de Estudios Filosóficos, Universidad del Zulia. Maracaibo - Venezuela, 39(100), 530–551. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6028687>

Resumen

Se describe la relevancia de la medición de la seguridad alimentaria en México. Se aborda su complejidad desde las dimensiones (disponibilidad, acceso, uso y estabilidad), metodologías y métodos. Se realizó un meta-análisis manejando tres importantes repositorios de datos: Science Direct, Scopus y Google Scholar, para el período 2000-2021 haciendo énfasis en el país. Además, se incluyó un análisis bibliométrico y la visualización en red de las relaciones co-ocurrencia entre palabras clave empleadas en 55 artículos científicos. Los resultados muestran un aumento en el estudio de la seguridad alimentaria desde el año 2009 y hasta la fecha. Resalta el empleo de las cuatro dimensiones propuestas por FAO para el estudio de la seguridad alimentaria de diferentes maneras. Sin embargo, también es común estudiarla desde enfoque único o adimensional. Las metodologías más destacadas se centran en el uso de indicadores, índices y encuestas como Ensanut. También diferentes análisis estadísticos como el método de componentes principales y diversos modelos líneas o lineales mixtos. Ha sido común encontrar estudios que no siguen algún método específico, sin embargo, algunos de ellos se basan en las definiciones propuestas por FAO o escalas de medición como la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria o la Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria. Si bien se ha estudiado de diferentes formas la seguridad alimentaria mexicana, aún quedan vacíos por resolver, siendo evidente que es necesario

continuar con la medición incorporando análisis más completos y a escalas más pequeñas.

Palabras clave: disponibilidad de alimentos; acceso de los alimentos; uso de los alimentos; estabilidad de los alimentos; métodos; indicadores.

Abstract

The relevance of measuring food security in Mexico is described. Its complexity is approached from the dimensions (availability, access, use and stability), methodologies and methods. A meta-analysis was carried out using three important data repositories: Science Direct, Scopus and Google Scholar, for the period 2000-2021 with emphasis on the country. In addition, a bibliometric analysis and network visualization of the co-occurrence relationships between keywords used in 55 scientific articles were included. The results show an increase in the study of food safety since 2009 and to date. It highlights the use of the four dimensions proposed by FAO for the study of food security in different ways. However, it is also common to study it from a single or dimensionless approach. The most prominent methodologies focus on the use of indicators, indices and surveys such as Ensanut. Also different statistical analyzes such as the principal components method and various mixed lines or linear models. It has been common to find studies that do not follow any specific method, however, some of them are based on the definitions proposed by FAO or measurement scales such as the Mexican Scale of Food Security or the Latin American and Caribbean Scale of Food Security. Although Mexican food security has been studied in different ways, there are still gaps to be resolved, it being evident that it is necessary to continue with the measurement incorporating more complete analyzes and at smaller scales.

Keywords: food availability; food access; use of food; food stability; methods; indicators.

3.1. Introducción

Medir la seguridad alimentaria de las personas es complejo y multifactorial. Para su estudio se ha observado que los elementos que intervienen son diversos de acuerdo con el contexto territorial donde se expresen (Zárate Guevara et al., 2016). A causa de ello se ha implementado el uso de indicadores para otorgar un valor de prevalencia a la subalimentación para cada país. Como, por ejemplo, se ha calculado la distribución de consumo alimentario en aquellos países que realizan encuestas de consumo de los hogares permitiendo un ajuste a estos niveles de prevalencia de la subalimentación de la población (Urquía-Fernández, 2014). Por lo que evaluar la seguridad alimentaria es importante ya que repercute directamente en el estado de salud y nutrición de las personas, además de ser importante para encaminar las acciones relacionadas con el avance de los objetivos del milenio (Pico Fonseca & Pachón, 2012).

La seguridad alimentaria como concepto surge en los años setenta sustentado en la producción y disponibilidad de alimentos; para la década de los ochenta se les incorpora el acceso físico y económico a los alimentos y ya para los años noventa se considera la inocuidad de estos. Posteriormente la seguridad alimentaria es considerada como un derecho humano, por lo que en la Cumbre Mundial de la Alimentación (1996) se define que:

“La seguridad alimentaria a nivel de individuo, hogar, nación y global se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana” (FAO, 2011, p. 2).

De acuerdo con FAO (2011), para el estudio de la seguridad alimentaria es necesario abordarla desde cuatro dimensiones: la disponibilidad, el acceso físico y económico, el uso y la estabilidad y mantenimiento de los alimentos. Razón por la que cualquier cambio en una de estas dimensiones podría sufrir condiciones de inseguridad alimentaria (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020).

Un requisito importante para lograr la seguridad alimentaria es contar con información oportuna y confiable. Para esto las organizaciones a nivel mundial han invertido en sistemas de información con el objetivo de recopilar, analizar y comunicar los problemas agudos y crónicos de la seguridad alimentaria. Incluyen esfuerzos como los sistemas de alerta temprana contra la hambruna, la Iniciativa Interagencial de Sistemas de Información y Cartografía sobre Inseguridad Alimentaria y Vulnerabilidad de las Naciones Unidas, el Sistema de Alerta Temprana de Información Global (SMIA) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, entre otros (Mock et al., 2013).

La presente revisión busca mostrar los diferentes métodos que han utilizado en México mediante un meta-análisis para orientar y mejorar las futuras investigaciones del tema. El meta-análisis es una metodología para el análisis cuantitativo de revisiones de literatura científica sobre una pregunta específica (Botella & Zamora, 2017). Por tal, la formulación del problema está basado en la resolución de tres preguntas específicas a cerca del análisis de la seguridad alimentaria, mismas que se buscó resolver a través de este método. La codificación de los artículos encontrados permitió clasificarlos de acuerdo con las preguntas establecidas y finalmente el análisis y la interpretación de dichos estudios, nos arrojó como resultado tres temas principales contenidos en el presente estudio: 1) Dimensiones de la seguridad alimentaria analizadas en los artículos (FAO, 2011); 2) Metodologías que utilizaron para cuantificar la seguridad alimentaria; 3) Método que se usó como guía para su medición.

Adicional, se encuentra incluido una exploración propia de la búsqueda en Scopus, que permitió considerar el análisis de la seguridad alimentaria desde un contexto más amplio, considerando particularidades del país como el caso de Maíz, las políticas públicas, la relevancia del impacto del cambio climático, entre otros temas. Y finalmente un breve análisis de palabras clave empleadas en los estudios como cronología del estudio de la seguridad alimentaria mexicana.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Esquema de revisión

Se aplicó un meta-análisis típico con el fin de sintetizar las evidencias sobre el estudio de la seguridad alimentaria en México, dando respuesta a diversas preguntas de investigación: 1) ¿Qué dimensiones de la seguridad alimentaria se abordan?; 2) ¿Qué tipo de análisis o metodologías se utilizan en las investigaciones sobre seguridad alimentaria?; 3) ¿Qué métodos se emplean para estudio de la seguridad alimentaria? Lo anterior siguiendo las diferentes fases de un meta-análisis (Botella & Zamora, 2017).

3.2.2. Recolección de datos y análisis bibliométrico

La búsqueda se llevó a cabo en octubre de 2021. La literatura consultada se recopiló de los siguientes repositorios de datos: Science Direct, Scopus, Researchgate, Redalyc y Google Scholar para el período 2000-2021 y se emplearon palabras clave a fin de precisar la información de interés, como “food security”, “food security and Mexico”, “food availability”, “stability and maintenance”, “food security and methods”, “food security and methodology”, principalmente. En Scopus se realizó una búsqueda avanzada utilizando la ecuación TITLE ("food security") AND TITLE-ABS-KEY ("mexico")) AND (EXCLUDE (PUBYEAR , 1994) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1992) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1987)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")).

La búsqueda se limitó exclusivamente a artículos, obteniendo un total de 66 resultados de los cuales se seleccionaron y cargaron un total de 25 documentos en el software de referencia de Mendeley. Además, para facilitar el mapeo sistemático se creó una hoja de cálculo de Excel que permitió la organización y clasificación de los estudios de acuerdo con las preguntas de investigación planteadas. Cabe destacar que los estudios fueron seleccionados si presentaban una metodología con variables para medir la seguridad alimentaria. Estudios de revisiones o que no aproximaban una medición no fueron considerados.

Sin embargo, a fin de lograr una investigación más completa se tomó la base de datos de los artículos arrojados por Scopus (55 estudios) y con la opción “Analyze search results” se desarrolló un análisis de dichos resultados en el presente artículo. Se exportó la base de datos (Scopus) en formato RIS y se utilizó el software VOSviewer versión 1.6.17, para analizar la visualización en red de las relaciones co-ocurrencia entre palabras clave a través de un mapa basado en datos bibliográficos. Se incluyeron palabras clave con un mínimo de un artículo.

3.3. Resultados y discusión

Se seleccionaron y revisaron 25 estudios originales publicados durante el periodo 2000-2021 en los que se ha estudiado la seguridad alimentaria en México. Los detalles de dichos estudios se muestran en el desarrollo a continuación.

3.3.1. Definición y dimensiones de Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria en México se estudió en el pasado desde un enfoque o visión única (Mundo-Rosas et al., 2013; Vilar-Compte et al., 2015) y más recientemente desde el enfoque de las cuatro dimensiones (FAO, 2011; Salvador et al., 2021). Cabe destacar que el 70 % de estas investigaciones son a nivel nacional, sin embargo, hay algunas a nivel ecorregional, regional y municipal.

Analizar la seguridad alimentaria desde un enfoque único se ha implementado desde hace varias décadas a través de diferentes métodos, como es el caso de la combinación de diferentes variables o mediante escalas de medición compuestas por una serie de ítems (Shamah-Levy et al., 2014). Sin embargo, en los últimos años la relevancia que tiene el estudio de la seguridad alimentaria para los territorios muestra cambios importantes ya que es un concepto multidimensional.

Esta condición, supone la existencia de cuatro dimensiones que son necesarias para alcanzar la seguridad alimentaria: *disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad*. Con ello se logra generar sistemas de abasto alimentario sostenibles y funcionales (Salvador et al., 2021). Sin embargo, existen opiniones diferentes

acerca del uso de las dimensiones, Martínez Salvador (2016), menciona que para Amartya Sen los pilares o dimensiones de la seguridad alimentaria no tienen los mismos grados de importancia. Mientras que Salvador et al. (2021) asume que los pilares o dimensiones son necesarias, mas no suficientes para alcanzar la seguridad alimentaria.

La combinación de dos o más pilares al analizar la seguridad alimentaria es una de las estrategias que diversos autores han implementado, logrando investigaciones más completas y de mayor relevancia. La mezcla de dichas dimensiones se presenta de diversas formas, por ejemplo, *disponibilidad, acceso y uso* (Galeana-Pizaña et al., 2021; Mundo-Rosas, et al., 2019; Torres & Rojas, 2020), o *disponibilidad; acceso y estabilidad* (Aguilar-Estrada et al., 2019; Salvador et al., 2021).

Así pues, la manera en que se han abordado las dimensiones ha ido evolucionando a través de los años, la tendencia marca un aumento en el número de pilares considerados en el análisis de la seguridad alimentaria; por ejemplo, del 2016 al 2018 era más común encontrar dos pilares abordados en las investigaciones, comúnmente eran la *disponibilidad y el acceso* (Shamah-Levy et al., 2017; Zárate Guevara et al., 2016), posteriormente del 2019 al 2021 aumentó el empleo a tres dimensiones (Galeana-Pizaña et al., 2021; Mundo-Rosas et al., 2019; Torres-Torres & Rojas-Martínez, 2019), hasta llegar a incluir los cuatro pilares (Salvador et al., 2021).

Como se muestra en el Cuadro 1, en las dos últimas décadas en México la disponibilidad y el acceso a los alimentos son los pilares más estudiados, seguidos por el uso y finalmente la estabilidad. Sin embargo, recurrentemente se ha venido analizando la seguridad alimentaria desde un enfoque único hasta los estudios más recientes.

Cuadro 1. Resumen de las investigaciones consultadas para la revisión de dimensiones, métodos y metodologías para el estudio de la seguridad alimentaria.

Cita	Título	Escala	Métodos	Dimensiones de SA estudiadas	Metodología
(Ramírez Jiménez et al., 2021)	Validación de la escala mexicana de seguridad alimentaria a través de correlación tetracórica con base en la distribución normal asimétrica bivariada	Nacional	EMSA	Enfoque único	Análisis de Factores Confirmatorio (AFC).
(Novotny et al., 2021)	The importance of the traditional milpa in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, Mexico	Municipal	NA	Enfoque único	Encuesta de hogares, censos de población, censos agrícolas, y supervisión de la producción
(Castañeda-Navarrete, 2021)	Homegarden diversity and food security in southern Mexico	Estatad	FAO	Acceso; uso	Encuestas a hogares. Método de muestreo aleatorio estratificado proporcional. Modelos de regresión lineal, cuantil, de Poisson y probit. Puntuaciones de consumo de alimentos
(Salvador Martínez et al., 2021)	Cadenas cortas de comercialización y seguridad alimentaria: El caso de El Mercado el 100	Estatad	FAO	Disponibilidad; acceso; uso; estabilidad	Sondeo no probabilístico. Muestreo en bola de nieve
(Galeana-Pizaña et al., 2021)	Is rural food security primarily associated with smallholder agriculture or with commercial agriculture? An approach to the case of Mexico	Nacional/ ecorregional	NA	Disponibilidad; acceso; uso	Modelo conceptual propuesto de seguridad alimentaria rural en México. Modelo de ecuación estructural (SEM). Índice de autosuficiencia alimentaria. Índice de Marginación.

Cita	Título	Escala	Métodos	Dimensiones de SA estudiadas	Metodología
	using structural equation modeling				
(Baca del Moral et al., 2021)	Prospera and the food security of rural families in the center of Veracruz	Municipal	NA	Enfoque único	Encuestas. Prueba de normalidad. Análisis de varianza para muestras independientes. Prueba del cuadrado para las variables categóricas.
(Torres & Rojas, 2020)	Seguridad alimentaria y sus desequilibrios regionales en México	Nacional	FAO	Disponibilidad; acceso; uso	Índice de Seguridad Alimentaria Municipal y Regional, empleando el método de Análisis de Componentes Principales
(Ureta et al., 2020)	Maize yield in Mexico under climate change	Regional	NA	Enfoque único	Modelos lineales mixtos. Proceso autoregresivo de orden 1. Criterio de información de Akaike. Modelo mejor soportado y una climatología de 5 km 2 de Worldclim. Análisis del punto de equilibrio en condiciones actuales y futuras.
(Castañeda et al., 2019)	Food security and obesity among Mexican agricultural migrant workers	Municipal	NA	Enfoque único	Selección de muestreo concéntrico de vecindarios dentro de las dos comunidades
(Aguilar-Estrada et al., 2019)	¿Hambre en México? Una alternativa metodológica para medir seguridad alimentaria	Nacional	FAO	Disponibilidad; acceso; estabilidad	Índice de Marginación por Localidad del Consejo Nacional de Población. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2016 (ENIGH).

Cita	Título	Escala	Métodos	Dimensiones de SA estudiadas	Metodología
(Mundo-Rosas et al., 2019)	La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México: una mirada desde el acceso, la disponibilidad y el consumo	Nacional	ELCSA	Disponibilidad; acceso; uso	Método de análisis de componentes principales. Prueba de Wald ajustada. Regresión lineal. Modelos de regresión logística múltiple.
(Torres-Torres & Rojas-Martínez, 2019)	La situación regional y las escalas de la seguridad alimentaria en México	Regional/municipal	NA	Disponibilidad; acceso; uso	Método de análisis de componentes principales. Método de estratificación de Dalenius-Hodges (rangos para regiones).
(Galeana-Pizaña et al., 2018)	Assessing food security and environmental protection in Mexico with a GIS-based Food Environmental Efficiency index	Ecorregiones	NA	Disponibilidad; acceso	Análisis de tendencias y análisis de correlación de impulso. Índice discreto de Eficiencia Ambiental Alimentaria. indicador de autosuficiencia alimentaria.
(Shamah-Levy et al., 2017)	Food security governance in Mexico: How can it be improved?	Nacional	NA	Disponibilidad; acceso	Mapa conceptual
(Silva et al., 2016)	Household food security: Perceptions, behavior and nutritional quality of food purchases	Nacional	ENIGH/EMSA	Enfoque único	Efecto Promedio del Tratamiento de los Tratados/ modelos Probit
(Zárate Guevara et al., 2016)	Análisis de la seguridad alimentaria en los hogares el municipio de Xochiapulco Puebla, México	Municipio	NA	Disponibilidad; acceso	Índices e Indicadores
(Díaz-Carreño et al., 2016)	Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus	Nacional	NA	Enfoque único	Modelos de regresión lineal (MRL) y del método de mínimos

Cita	Título	Escala	Métodos	Dimensiones de SA estudiadas	Metodología
	principales determinantes				cuadrados ordinarios (MCO). Prueba Reset de Ramsey. Modelo log-lin
(Vilar-Compte et al., 2015)	The impact of the 2008 financial crisis on food security and food expenditures in Mexico: A disproportionate effect on the vulnerable	Nacional	ENIGH/EMSA	Enfoque único	Análisis transversal combinado/regresión logística ordenada generalizada (modelo gologit2)
(Ramírez-García et al., 2015)	Unidad de producción familiar como alternativa para mejorar la seguridad alimentaria en la etnia yaqui en Vicam, Sonora, México	Municipal	NA	Enfoque único	Aplicación de encuestas. Software Statgraphic para realizar correlaciones entre variables
(Valencia-Valero & Ortiz-Hernández, 2014)	Disponibilidad de alimentos en los hogares mexicanos de acuerdo con el grado de inseguridad alimentaria.	Nacional	ENIGH/EMSA/ELCSA	Enfoque único	Análisis de escalamiento para evaluar las propiedades psicométricas de la ELCSA
(Shamah-Levy et al., 2014a)	La magnitud de la inseguridad alimentaria en México: su relación con el estado de nutrición y con factores socioeconómicos	Nacional	ELCSA	Enfoque único	Ensanut 2012
(Urquía-Fernández, 2014)	La seguridad alimentaria en México	Nacional	ELCSA	Disponibilidad; acceso; uso; estabilidad	Cuadro comparativo de metodología común entre países
(Mundo-Rosas et al., 2013)	Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México	Nacional	ELCSA	Enfoque único	Método de componentes principales. Información descriptiva en

Cita	Título	Escala	Métodos	Dimensiones de SA estudiadas	Metodología
					porcentajes con sus respectivos intervalos de confianza (IC) de 95%. Pruebas estadísticas para observar diferencias entre los hogares
(Melgar- Quiñonez et al., 2010)	Características psicométricas de la escala de seguridad alimentaria ELCSA aplicada en Colombia, Guatemala y México	México, Colombia y Guatemala	ELCSA	Enfoque único	Datos provenientes de encuestas nacionales y locales. Modelo matemático de Rasch (paquete estadístico Winsteps)
(Camberos Castro, 2000)	La seguridad alimentaria de México en el año 2030	Nacional	FAO	Disponibilidad	Se revisaron tendencias en la población, demanda de alimentos y su disponibilidad en el periodo 1940-1990. Escenarios para el año 2030, basados en hipótesis de cambios en la población y mejoras en la distribución de alimentos de la FAO. Estimaciones propias con base en Francisco Alba (1996: 521)

NA= no aplica; ELCSA= Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria; FAO= Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Ensanut= Encuesta Nacional de Salud y Nutrición; ENIGH= Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares; EMSA= Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria.

3.3.2. Análisis y/o metodologías empleadas

Las metodologías son sumamente variadas y se resumen al uso de indicadores e índices, métodos estadísticos, modelos matemáticos hasta escenarios de

simulación donde se considera el cambio climático como punto clave en el tema de la seguridad alimentaria futura (Cuadro 2).

El uso de indicadores y construcción de índices ha sido relevante en el estudio del tema por diversos autores desde diferentes enfoques. En el Cuadro 2 se concentra una recopilación de indicadores tomados de los diversos artículos científicos revisados para esta investigación y posteriormente se agruparon y clasificaron por pilar de seguridad alimentaria.

Cuadro 2. Compilación de indicadores por dimensión de seguridad alimentaria

	Dimensión de Seguridad Alimentaria				Enfoque Único
	Disponibilidad	Acceso	Uso	Estabilidad	
1	Indicadores demográficos	Acceso físico y económico	Acceso a fuentes de agua mejoradas	Proporción de dependencia de las importaciones de cereales	Inflación en alimentos
2	Patrón de gasto monetario mensual de los hogares	Porcentaje de carreteras asfaltadas en el total de caminos	Acceso a servicios de saneamiento mejorados	Porcentaje de la tierra arable provista de sistemas de riego	Tasa de crecimiento del índice nacional de precios al consumidor (INPC)
3	Producción de granos básico per cápita	Densidad de carreteras	Porcentaje de niños menores de cinco años que padecen emaciación	Valor de las importaciones de alimentos en el total de mercancías explotadas	La escolaridad
4	Balance de energía	Densidad de líneas ferroviarias	Porcentaje de niños menores de cinco años que padecen retraso de crecimiento	Estabilidad política y ausencia de violencia o terrorismo	El salario real dividido por el INPC
5	Dependencia	Producto interno bruto per cápita (poder adquisitivo equivalente)	Porcentaje de niños menores de cinco años que padecen insuficiencia ponderal	Volatilidad de precios nacionales de los alimentos	La tasa de desocupación
6	Disponibilidad neta de alimentos	Índice nacional de precios de los alimentos	Porcentaje de adultos que padecen	Volatilidad de la producción de alimentos per cápita	La tasa de ocupación en el sector informal

			insuficiencia ponderal		
7	Suficiencia del suministro de energía alimentaria promedio	Prevalencia de la subalimentación	Prevalencia de la anemia entre mujeres embarazadas	Variabilidad del suministro de alimentos per cápita	El crecimiento del PIB estatal
8	Valor de la producción de alimentos promedio	Proporción del gasto en alimentos de los pobres	Prevalencia de la anemia entre los niños menores de cinco años	Número de deslizamientos y derrumbes	La producción del sector primario per cápita
9	Proporción del suministro de energía alimentaria derivado de cereales, raíces y tubérculos	Intensidad del déficit alimentario	Prevalencia de la carencia de vitamina A en la población	Número de interrupciones vías de acceso	Producción y demanda de alimentos
10	Suministro de proteínas promedio	Prevalencia de la insuficiencia alimentaria	Prevalencia de niños entre 6 y 12 años que padecen insuficiencia de yodo	Preocupación porque la comida se acabe	Población
11	Suministro de proteínas de origen animal promedio	Canasta básica de alimentos rural mensual	(%) de viviendas con serv. de agua potable	Capacidad futura de la tierra	Producto interno bruto
12	Variedad de alimentos disponibles	Índice acceso a agua	(%) de viviendas con serv. de alcantarillado	Rendimientos futuros	Costos de insumos
13	Índice de suficiencia calórica ISC	Índice acceso a tierra	(%) de pobladores con conoc. de inocuidad	Tamaño de población	Precios
14	Índice de suficiencia proteica ISP	Ingreso familiar mensual	Carencia de agua fresca y potable	Factores de riesgo futuro	Demanda de agua
15	Producción de alimentos	(%) de ingreso en gasto en alimentos	calidad de productos alimenticios	Cambio en variables climáticas	Cadenas de valor
16	Desigualdad en la estructura agraria	insuficiencia de ingresos económicos	Acceso a la salud pública		Uso de suelo

17	Índice de marginación	Programas para la mejora de la seguridad alimentaria y nutricional	índice de infrecuencia de desnutrición		Gasto en alimentos
18	Porcentaje de suficiencia de granos básicos: arroz, frijol, maíz y trigo	inverso del Índice de marginación			Diversidad de la dieta
19	Porcentaje de suficiencia de carnes: bovino, porcino, ave	Ingreso			Área
20	Producción	Producto Interno Bruto Per Cápita			Región
21	Rendimientos	Porcentaje de población en situación de pobreza alimentaria			Características del jefe de familia
22	Aptitud y superficies aptas para la agricultura	Precios de alimentos			Hogares indígenas
23	Autosuficiencia alimentaria	Precio en insumos para cocinar			Programas sociales
24		Inverso del Índice de marginación			Grado de marginación de la localidad
25					Información personal sobre el perfil
26					Composición del hogar
27					Fuentes de ingresos
28					Hábitos alimenticios familiares
29					Opiniones del entrevistado con respecto a la implementación del programa Prospera en su comunidad
30					Diversidad de consumo por

					grupo de alimentos
--	--	--	--	--	--------------------

Como ejemplo se tiene una investigación realizada en el altiplano de Oaxaca, México, utilizando encuesta de hogares, censos de población, censos agrícolas, y supervisión de la producción como indicadores para determinar la autosuficiencia nutricional a nivel municipal (Novotny et al., 2021). Del mismo modo en el año 2020 y 2019 se utilizaron diversos indicadores para mediar la seguridad alimentaria a nivel nacional mediante la construcción de índices (Aguilar-Estrada et al., 2019; Torres & Rojas, 2020).

Recientemente se validó la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA) a través de Análisis de Factores Confirmatorio con el propósito de proponer un estimador de la correlación tetracórica para diferentes niveles de asimetría (Ramírez Jiménez et al., 2021). Dicho modelo sugiere que la falta de dinero o recursos limita la variedad de los alimentos y elimina algún tiempo de comida tanto en adultos como en menores.

En el 2016 se evaluó la inseguridad alimentaria en las entidades federativas de México mediante un modelo econométrico de regresión lineal múltiple y método de mínimos cuadrados ordinario donde se analizaron los principales factores de la inseguridad alimentaria severa (Díaz-Carreño et al., 2016). Para dicho modelo se emplearon una serie de variables dependientes e independientes de inseguridad alimentaria con datos de la Conasami (2013), Enoe (2013), Ensanut (2012) e Inegi (2013a). Es importante destacar que la finalidad de este análisis no fue la predicción acerca del comportamiento de las variables, sino únicamente conocer aquellos factores que contribuyen a una mejor explicación del fenómeno de la inseguridad alimentaria severa.

Recientemente se utilizaron modelos lineales mixtos que combinaron hasta 10 variables bioclimáticas para analizar en rendimiento del maíz en México bajo condiciones de cambio climático utilizando el criterio de información de Akaike corregido para la selección del mejor modelo. Además, utilizaron la herramienta

ExDet para evaluar el cambio de rango bajo los escenarios futuros que facilita la visualización de áreas geográficas donde se espera que los cambios futuros sean mayores y donde la extrapolación podría ser problemática porque los rangos climáticos cambian o las variables se combinan de diferentes maneras. El modelo utilizado para la investigación ayudó a visualizar que cuando se tomó en cuenta el municipio, las variables climáticas utilizadas pueden explicar una gran cantidad de variabilidad del rendimiento (Ureta et al., 2020).

Otro elemento que sirvió para identificar los principales impulsores a la hora de abordar la seguridad alimentaria en México fue mediante la elaboración de un modelo conceptual para identificar cómo la estructura de los sistemas agrícolas en México se relaciona con la disponibilidad, accesibilidad y utilización de alimentos (Galeana-Pizaña et al., 2021). En este estudio se utilizaron modelos de ecuaciones estructurales a escala nacional y ecorregional. Dichos modelos combinan el análisis factorial con la regresión lineal para probar el grado de ajuste de los datos observados a un modelo hipotético que se expresa mediante un diagrama o mapa mental.

Mismo que con base a la revisión de variables utilizadas en estudios anteriores, propuso un modelo empírico que muestra las mejores correlaciones con el concepto de la seguridad alimentaria rural a través de los conceptos intermedios de disponibilidad de alimentos, accesibilidad de alimentos y utilización de alimentos, tres de los cuatro pilares de la seguridad alimentaria y sus propios indicadores clave como variables predictoras. Los resultados, según lo exponen los autores, brindan un apoyo estadístico y cuantitativo a las opiniones expresadas en la literatura científica sobre la agricultura en pequeña escala como un factor predominante de seguridad alimentaria rural a escala nacional en México.

3.3.3. Métodos aplicados

Gran parte de los artículos consultados no siguen algún método específico para estudiar la seguridad alimentaria, puesto que se enfocan más a empleo de metodologías orientadas al uso de índices o indicadores como lo hacen Zárate

Guevara et al. (2016) quienes evaluaron la seguridad alimentaria en un municipio del centro de México usando como unidad análisis el hogar.

La mayoría de las propuestas metodológicas que sustentan los diagnósticos parten del concepto clásico de la FAO (Torres & Rojas, 2020). Aun así, dentro de los métodos más empleados para estudiar la seguridad alimentaria está la Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA) que ha sido propuesta como instrumento regional principalmente en estudios de México y países de América Latina.

A propósito de esto, se la utilizó dicha escala para determinar la seguridad alimentaria en tres países de Latinoamérica (Colombia, Guatemala y México) mediante ítems que tuvieron contenidos equivalentes en estos tres países (Melgar-Quíñonez et al., 2010).

Posteriormente, se describió la inseguridad alimentaria en México con la información de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, de la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto en Hogares 2008, y del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Shamah-Levy et al., 2014). Lo mismo ocurre con otro estudio que midió los cambios de la inseguridad alimentaria en los hogares mexicanos en pobreza a través de la ELCSA armonizada para México, con información de 4,464 hogares de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en localidades con menos de 100 000 habitantes (Mundo-Rosas et al., 2019).

También se ha evaluado la seguridad alimentaria mediante estimaciones realizadas por la FAO de acuerdo con a los requerimientos de alimentos cuantificados en calorías (Camberos Castro, 2000). Lo mismo que otro estudio realizado en el 2019 donde se tomó como referencia la definición de la FAO para la seguridad alimentaria y a partir de ello propuso una metodología que permitió caracterizarla desde el conjunto de las cuatro dimensiones (Aguilar-Estrada et al., 2019).

3.3.4. Análisis de la tendencia de las publicaciones y la distribución por palabras clave

La seguridad alimentaria debe integrar la perspectiva multifactorial y territorial que ayude a generar diagnósticos integrales y que además de incluir métodos y metodologías que midan el problema estructural, es necesario considerar factores más específicos propios de cada región del país, como su población, territorios, usos y costumbres, entre otros. Para esto fue necesario considerar los 55 documentos sobre “food security AND Mexico” de la base de datos Scopus limitado a artículos científicos del periodo 2000-2021 y analizar más a fondo la evolución de la medición de la seguridad alimentaria mexicana y sus principales actores.

Es importante destacar a los principales autores que participan en el estudio de la seguridad alimentaria mexicana que se muestra en la Figura 2. Ejemplo de ello es Galeana-Pizaña, JM que contribuye junto con Couturier, S. estudiando la seguridad alimentaria rural utilizando modelos de ecuaciones estructurales para identificar como la estructura de los sistemas agrícolas en México se relaciona con la disponibilidad, accesibilidad y utilización de los alimentos (Galeana-Pizaña et al., 2021), además de evaluarla mediante un índice de eficiencia ambiental alimentaria basado en SIG durante los últimos 40 años (Galeana-Pizaña et al., 2018).

En el 2014, Godek, W contribuye a estudiar la seguridad y soberanía alimentaria en comunidades indígenas mexicanas mediante la investigación y acción participativa junto con la agroecología para conducir a estrategias orientadas al contexto cultural y ambientalmente apropiadas (Putnam et al., 2014). Por su parte Dean, WR participa en la evaluación de la seguridad alimentaria de los niños a través de datos dietéticos e ingesta de nutrientes (Sharkey et al., 2012).

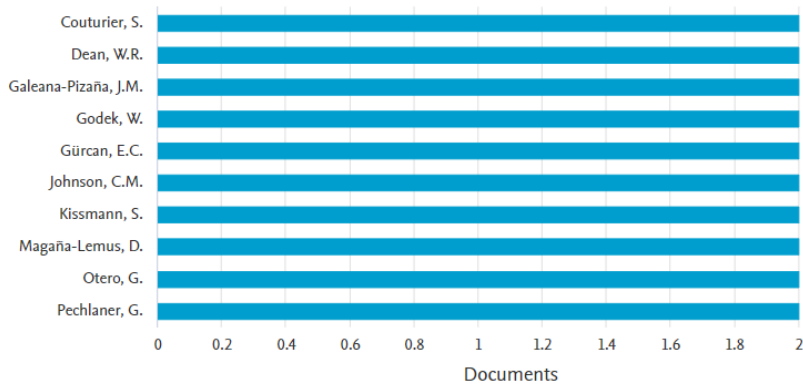


Figura 2. Número de documentos por autor

Una constante en los resultados es considerar el maíz como recurso indispensable para la seguridad alimentaria mexicana (Donnet et al., 2017; Langner et al., 2019; Murray-Tortarolo et al., 2018; Novotny et al., 2021). Mientras que otros se enfocan en la producción pecuaria como solución a la falta de seguridad alimentaria en el país (Ibarra et al., 2013; Nicholson et al., 2021; Velázquez, 2017). Otra evidencia de la importancia de la medición de la seguridad alimentaria es considerando las desigualdades, la pobreza y las repercusiones que estas asumen sobre la calidad nutricional de la dieta y las enfermedades derivadas de la malnutrición (Appendini & Quijada, 2016; Fernández et al., 2010; Otero et al., 2018; Silva et al., 2016; Sharkey et al., 2011).

Así mismo, considerar el cambio climático en temas de seguridad alimentaria es indispensable, ya que gran parte de la producción de alimentos depende enteramente de los cultivos de secano, que a su vez dependen de la variabilidad de las precipitaciones y cambios en las temperaturas (Bee, 2014; González-Marín et al., 2017; Murray-Tortarolo et al., 2018); Munang et al., 2011).

Es importante destacar los desafíos de las políticas públicas en México sobre el tema de la seguridad alimentaria, la necesidad de políticas públicas transversales sostenibles y la implementación de programas como “Cruzada Nacional contra el Hambre”, Prospera y “PROCAMPO”, por mencionar algunos (Figueroa et al.,

2018; Hernández et al., 2018; García-Salazar et al., 2011; Ibarrola-Rivas & Galicia, 2017; Mayett-Moreno & Oglesby, 2018; Muñoz-Rodríguez et al., 2020).

Lo anterior refuerza una tendencia de incremento de las publicaciones sobre el estudio de la seguridad alimentaria a partir del año 2010. Sin embargo, en el 2014 y 2021 se han registrado el mayor número de estas publicaciones científicas sobre el tema. El análisis bibliométrico muestra una tendencia positiva en la investigación del tema, donde participan diversos países (Figura 3).

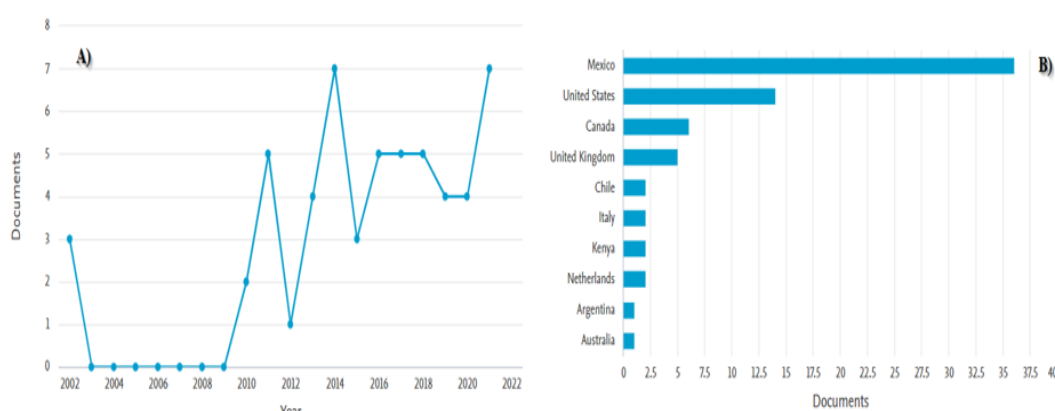
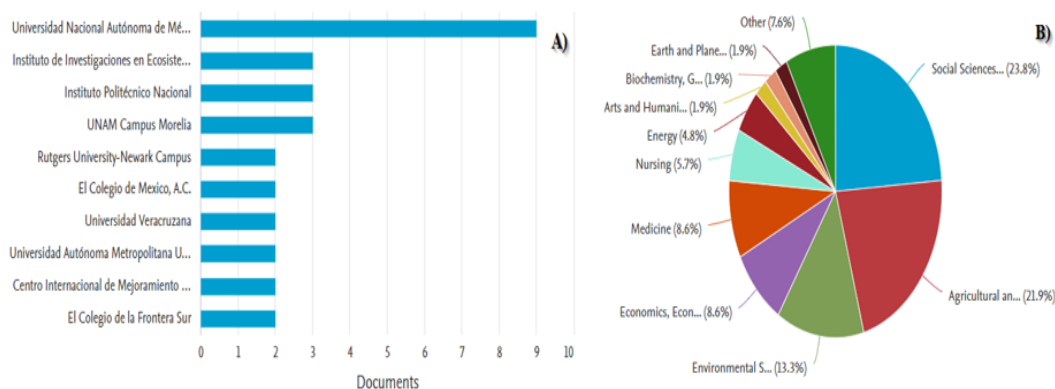


Figura 3. A) La tendencia de las publicaciones anuales de 2000-2021; B) Distribución por países.

Si se analizan las instituciones involucradas en el estudio de la seguridad alimentaria destacan la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad y el Instituto



Politécnico Nacional. Al ubicar el estudio por área temática resaltan las Ciencias Sociales, Ciencias agrícolas y biológicas y la ciencia medioambiental (Figura 4).

Figura 4. A) Distribución por afiliación; B) distribución por área temática.

Resulta también de interés, el análisis de las palabras clave. Para ello se utilizó la herramienta VosViewer, donde se identificaron un total de 97 palabras claves o ítems clasificadas por el programa en 4 grupos. Las palabras claves más representativas son food security, mexico food supply, human, malnutrition, diet, biodiversity, climate change, zea mays, catering service, entre otras (Figura 5).

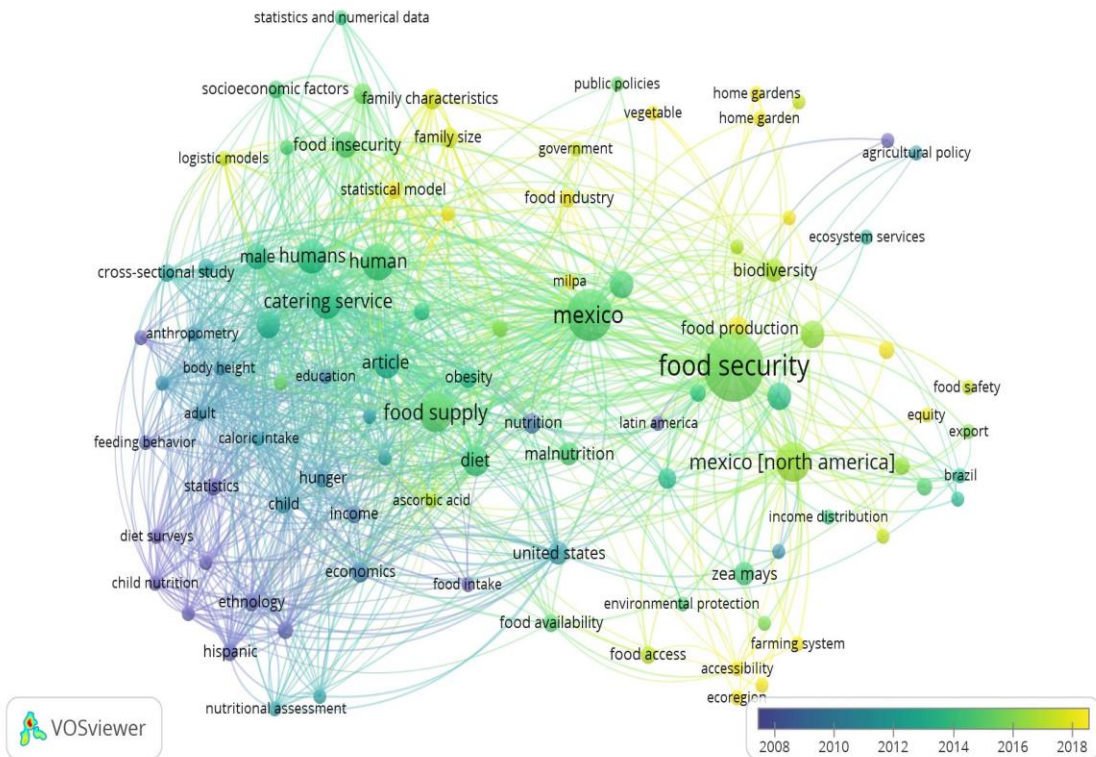


Figura 5. Análisis de co-ocurrencia de palabras clave en la seguridad alimentaria en México entre 2010-2021.

El análisis de las palabras clave para el estudio de la seguridad alimentaria que se utilizaron en estos estudios puede ser considerado como punto de partida ya que caracterizan el enfoque de los autores sus los resultados y nos proporcionan

ideas generales sobre la tendencia de la investigación de la seguridad alimentaria en México.

Con base en estos estudios es evidente que el estudio de la seguridad alimentaria ha jugado un papel importante en México a través de diferentes ítems, como los factores socioeconómicos, ingesta calórica y energética, población rural y políticas públicas aplicados en las primeras investigaciones registradas en Scopus; posteriormente se incluyeron palabras como nutrición, malnutrición, cuestionarios de evaluación, relevancia cultural y cultivo agrícola; más adelante ya se consideran la educación, gobierno, niños, hombres y mujeres; y recientemente la dieta, consumo, obesidad, política agrícola, características familiares, suministros de alimentos y producción.

3.4. Conclusiones

Este artículo buscó aportar evidencias sobre tres cuestiones fundamentales en la medición de la seguridad alimentaria (dimensiones, metodologías y métodos). En este sentido, la evidencia sugiere que cuantificar la seguridad alimentaria a diferentes escalas resulta ser muy compleja. Por lo tanto, se ha hecho de diversas formas, con múltiples metodologías y siguiendo diferentes métodos que han aportado valiosa información. Comúnmente se observó la evolución de la medición desde los enfoques únicos hasta llegar a abordar los cuatro pilares propuestos por la FAO, aplicando diversos métodos estadísticos que van desde modelos de regresión lineal, lineales mixtos hasta modelos conceptuales que implican el uso de diversos ítems, indicadores e índices, que finalmente permitieron identificar a la población más vulnerable a este problema, con el fin de mejorar la gobernanza de la seguridad alimentaria en México.

La evidencia incluida en esta investigación marca la pauta para continuar con el estudio de la seguridad alimentaria, ya que los desafíos tanto actuales como futuros resultan ser evidentes. Esto ya que, a pesar de ser un tema estudiado desde diferentes enfoques, siguen existiendo vacíos que es necesario llenar. Por ello, se recomienda el estudio de la seguridad alimentaria mexicana a escalas

más pequeñas que permitan considerar aspectos propios de cada región o municipio del país, tomando en cuenta las características tan variadas que se presentan en las diferentes zonas, como son culturales, sociales y de diversidad en general. Es indispensable continuar con el empleo de indicadores e índices ya que aportan información valiosa que permiten mediar la seguridad alimentaria de manera más puntual. También es necesario continuar con el uso de los cuatro pilares propuestos por la FAO de manera integral a fin de lograr estudios más completos y con mejores referencias. Además, incluir temas de relevancia como el cambio climático en la seguridad alimentaria ayudará a formar un panorama más amplio de los cambios que podrían sufrir las diferentes zonas del país. Con ello la concentración de los esfuerzos por erradicar la falta de seguridad alimentaria mexicana mediante políticas públicas se podrá hacer de la manera en que requiera cada zona del país.

3.5. Literatura citada

- Aguilar-Estrada, A. E., Caamal-Cauich, I., Barrios-Puente, G., & Ortiz-Rosales, M. Á. (2019). ¿Hambre en México? Una alternativa metodológica para medir seguridad alimentaria. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53). <https://doi.org/10.2307/40184061>
- Appendini, K., & Quijada, M. G. (2016). Consumption strategies in Mexican rural households: pursuing food security with quality. *Agriculture and Human Values*, 33(2), 439–454. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9614-y>
- Baca del Moral, J., Cuevas-Reyes, V., Sánchez-Toledano, B. I., Borja Bravon, M., & Castillejos López, Y. (2021). Prospera and the food security of rural families in the center of Veracruz. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 12(1), 11–22. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2279>
- Bee, B. A. (2014). “Si no comemos tortilla, no vivimos:” women, climate change, and food security in central Mexico. *Agriculture and Human Values*, 31(4), 607–620. <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9503-9>
- Botella, J., & Zamora, Á. (2017). El meta-análisis: Una metodología para la investigación en educación. *Educacion XX1*, 20(2), 17–38. <https://doi.org/10.5944/educXX1.18241>
- Camberos Castro, M. (2000). La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *Ciencia Ergo Sum*, 7(1), 49–55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401706>
- Caro, F. B., Hernández, E. Y. R., Fajardo, K. D. G., Viveros, S. S., & Torres, R. M. (2018). Nivel de Seguridad Alimentaria en beneficiarios de Comedores Comunitarios del programa Cruzada Nacional contra el Hambre (México). *Revista Espanola de Nutricion Comunitaria*,

- 24(3). Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060257716&partnerID=40&md5=ac7fb2c067f169e83fc5108f5bd4841a>
- Castañeda-Navarrete, J. (2021). Homegarden diversity and food security in southern Mexico. *Food Security*, 13(3), 669–683. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01148-w>
- Castañeda, J., Caire-Juvera, G., Sandoval, S., Castañeda, P. A., Contreras, A. D., Portillo, G. E., & Ortega-Vélez, M. I. (2019). Food security and obesity among Mexican agricultural migrant workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph16214171>
- Díaz-Carreño, M. Á., Sánchez-León, M., & Díaz-Bustamente, A. (2016). Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus principales determinantes. *Economía, Sociedad y Territorio*, 16, 459–483. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212016000200459&nrm=iso
- Donnet, M. L., Becerril, I. D. L., Black, J. R., & Hellin, J. (2017). Productivity differences and food security: A metafrontier analysis of rain-fed maize farmers in MasAgro in Mexico. *AIMS Agriculture and Food*, 2(2), 129–148. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2017.2.129>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. FAO, México. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>
- Fernández, L. A. P., Toral, J. N., Vázquez, M. R. P., Barrios, L. G., Beutelspacher, A. N., & Baltazar, E. B. (2010). Impacto de las estrategias de ingresos sobre la seguridad alimentaria en comunidades rurales Mayas del norte de Campeche. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60(1), 48–55. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78650507310&partnerID=40&md5=c678b2b237537368ccd79ed2e35694d0>
- Figueroa, M., Moral, J., & Cuevas-Reyes, V. (2018). Poverty and food insecurity in the mexican countryside: an unsolved public policy issue. *Textual*, 71–105. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.71.004>
- Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., Figueroa, D., & Jiménez, A. D. (2021). Is rural food security primarily associated with smallholder agriculture or with commercial agriculture?: An approach to the case of Mexico using structural equation modeling. *Agricultural Systems*, 190, 103091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103091>
- Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., & Monsivais-Huertero, A. (2018). Assessing food security and environmental protection in Mexico with a GIS-based Food Environmental Efficiency index. *Land Use Policy*, 76, 442–454. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.022>
- García-Salazar, J. A., Skaggs, R., & Crawford, T. L. (2011). PROCAMPO, the Mexican corn market, and Mexican food security. *Food Security*, 3(3), 383–394. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0138-z>
- González-Marín, R. M., Moreno-Casasola, P., Castro-Luna, A. A., & Castillo, A. (2017). Regaining the traditional use of wildlife in wetlands on the coastal plain of Veracruz, Mexico: ensuring food security in the face of global climate change. *Regional Environmental Change*, 17(5), 1343–1354. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0955-x>

- Ibarra, A. A., Sánchez Vargas, A., & Martínez López, B. (2013). Economic impacts of climate change on two Mexican coastal fisheries: Implications for food security. *Economics*, 7. <https://doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2013-36>
- Ibarrola-Rivas, M. J., & Galicia, L. (2017). Rethinking Food Security in Mexico: Discussing the Need for Sustainable Transversal Policies Linking Food Production and Food Consumption. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 2017(94), 106–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.14350/rig.57538>
- Langner, J. A., Zanon, A. J., Streck, N. A., Reiniger, L. R. S., Kaufmann, M. P., & Alves, A. F. (2019). Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/8tMqb9tKX5qXN5yXh48h85y/?lang=en>
- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 23(9), 648–654. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p648-654>
- Martínez Salvador, L. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas Del Desarrollo*, 47(186), 107–132. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.004>
- Mayett-Moreno, Y., & Oglesby, J. M. L. (2018). Beyond food security: Challenges in food safety policies and governance along a heterogeneous agri-food chain and its effects on health measures and sustainable development in Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/su10124755>
- Melgar-Quiñonez, H., Uribe, M. C. A., Centeno, Z. Y. F., Bermúdez, O., Fulladolsa, P. P. de, Fulladolsa, A., ... Perez- Escamilla, R. (2010). Características psicométricas de la escala de seguridad alimentaria ELCSA aplicada en Colombia, Guatemala y México. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 17(1), 48. <https://doi.org/10.20396/san.v17i1.8634799>
- Mock, N., Morrow, N., & Papendieck, A. (2013). From complexity to food security decision-support: Novel methods of assessment and their role in enhancing the timeliness and relevance of food and nutrition security information. *Global Food Security*, 2(1), 41–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.11.007>
- Monterroso-Rivas, A., & Gómez-Díaz, J. D. (2020). Vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria por cambio climático. In *Seguridad hídrica y alimentaria. Problemas globales, acciones locales* (1era ed., pp. 167-178. 193). Universidad Autónoma Chapingo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6028687>
- Munang, R. T., Thiaw, I., & Rivington, M. (2011). Ecosystem management: Tomorrow's approach to enhancing food security under a changing climate. *Sustainability*, 3(7), 937–954. <https://doi.org/10.3390/su3070937>
- Mundo-Rosas, V., Shamah-Levy, T., & Rivera-Dommarco, J. A. (2013). Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 55, S206–S213. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342013000800018&nrm=iso
- Mundo-Rosas, V., Unar-Munguía, M., & Hernández-F, M. (2019). La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México : una mirada desde el acceso , la disponibilidad y el consumo. *Salud Pública de México*, 61(6), 866–875. <https://doi.org/10.21149/10579>
- Muñoz-Rodríguez, M., Fernández-González, C., Aguilar-Gallegos, N., & González-Santiago, M. V. (2020). The primacy of politics in public food security policies: The case of home gardens. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/su12104316>

- Murray-Tortarolo, G. N., Jaramillo, V. J., & Larsen, J. (2018). Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253–254, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.011>
- Nicholson, C. F., Stephens, E. C., Kopainsky, B., Thornton, P. K., Jones, A. D., Parsons, D., & Garrett, J. (2021). Food security outcomes in agricultural systems models: Case examples and priority information needs. *Agricultural Systems*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103030>
- Novotny, I. P., Tiftonell, P., Fuentes-Ponce, M. H., López-Ridaura, S., & Rossing, W. A. H. (2021). The importance of the traditional milpa in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, Mexico. *PLoS ONE*, 16(2 February 2021). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246281>
- Otero, G., Gürçan, E. C., Pechlaner, G., & Liberman, G. (2018). Food security, obesity, and inequality: Measuring the risk of exposure to the neoliberal diet. *Journal of Agrarian Change*, 18(3), 536–554. <https://doi.org/10.1111/joac.12252>
- Pico Fonseca, S. M., & Pachón, H. (2012). Factores asociados con la seguridad alimentaria en un municipio rural del norte del Cauca, Colombia. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 62(3), 227–233. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2012/3/art-4/>
- Putnam, H., Godek, W., Kissmann, S., Pierre, J. L., Alvarado Dzul, S., de Dios, H. C., & Gliessman, S. (2014). The challenges of measuring food security and sovereignty in the Yucatán Peninsula. *Development in Practice*, 24(2), 199–215. <https://doi.org/10.1080/09614524.2014.884540>
- Ramírez-García, A. Guillermo y Sánchez-García, Pastor, y Montes-Rentería, R. (2015). Unidad de producción familiar como alternativa para mejorar la seguridad alimentaria en la etnia yaqui en Vicam, Sonora, México. *Ra Ximhai*, 11(5), 113–136. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46142593007>
- Ramírez Jiménez, A. L., Ramírez Guzmán, M. E., & González Estrada, E. (2021). Validación de la escala mexicana de seguridad alimentaria a través de correlación tetracórica con base en la distribución normal asimétrica bivariada. *Agrociencia*, 55(1), 55–71. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i1.2347>
- Salvador, L. M., Hernández, L. G., & Ramírez, D. A. (2021). Cadenas cortas de comercialización y seguridad alimentaria: El caso de El Mercado el 100. *Problemas Del Desarrollo*, 52(206), 197–220. <https://doi.org/10.22201/IIEC.20078951E.2021.206.69732>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Flores-De la Vega, M. M., & Luiselli-Fernández, C. (2017). Food security governance in Mexico: How can it be improved? *Global Food Security*, 14, 73–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.05.004>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., & Rivera-Dommarco, J. A. (2014). La magnitud de la inseguridad alimentaria en México: su relación con el estado de nutrición y con factores socioeconómicos. *Salud Pública de México*, 56, s79-85. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000700012&nrm=iso
- Sharkey, J. R., Dean, W. R., & Johnson, C. M. (2011). Country of birth is associated with very low food security among Mexican American older adults living in colonias along the South Texas border with Mexico. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, 30(2), 187–200. <https://doi.org/10.1080/21551197.2011.572530>

- Sharkey, J. R., Nalty, C., Johnson, C. M., & Dean, W. R. (2012). Children's very low food security is associated with increased dietary intakes in energy, fat, and added sugar among Mexican-origin children (6-11 y) in Texas border Colonias. *BMC Pediatrics*, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-12-16>
- Silva, A., Caro, J. C., & Magaña-Lemus, D. (2016). Household food security: Perceptions, behavior and nutritional quality of food purchases. *Journal of Economic Psychology*, 55, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2016.05.003>
- Torres-Torres, F., & Rojas-Martínez, A. (2019). La situación regional y las escalas de la seguridad alimentaria en México. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 12, 51–93. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistalegislativadeestudiossocialesydeopinionpublica/2019/vol12/no25/2.pdf>
- Torres, F., & Rojas, A. (2020). Seguridad alimentaria y sus desequilibrios regionales en México. *Problemas Del Desarrollo*, 51(201), 57–83. <https://doi.org/10.22201/IIEC.20078951E.2020.201.69521>
- Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., & Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Publica de Mexico*, 56(SUPPL.1), S92–S98. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903842306&partnerID=40&md5=43345faa4b32c7da99a210ffb9f33c4c>
- Urquía-Fernández, Nuria. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 56, s92–s98. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000700014&nrm=iso
- Valencia-Valero, R. G., & Ortiz-Hernández, L. (2014). Disponibilidad de alimentos en los hogares mexicanos de acuerdo con el grado de inseguridad alimentaria. *Salud Publica de Mexico*, 56(2), 154–164. <https://doi.org/10.21149/spm.v56i2.7331>
- Velázquez, J. A. C. (2017). Implications of family livestock production in food security in México [Implicaciones de la producción pecuaria de tipo familiar en la seguridad alimentaria en México]. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 30, 18–21. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85039045742&partnerID=40&md5=3d3346395e2ee9adb0ab8c4f64dce880>
- Vilar-Compte, M., Sandoval-Olascoaga, S., Bernal-Stuart, A., Shimoga, S., & Vargas-Bustamante, A. (2015). The impact of the 2008 financial crisis on food security and food expenditures in Mexico: A disproportionate effect on the vulnerable. *Public Health Nutrition*, 18(1). <https://doi.org/10.1017/S1368980014002493>
- Zárate Guevara, G. S., Méndez Espinoza, J. A., Ramírez Juárez, J., & Olvera Hernández, J. I. (2016). Análisis de la seguridad alimentaria en los hogares el municipio de Xochiapulco Puebla, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 25, 67–85. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41744004003>

CAPÍTULO 4: THE AVAILABILITY OF FOOD IN MEXICO: AN APPROACH TO MEASURING FOOD SECURITY

Artículo publicado

Cruz-Sánchez, Y., Aguilar-Estrada, A., Baca-del Moral, J. et al. The availability of food in Mexico: an approach to measuring food security. *Agric & Food Secur* 13, 35 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00484-2>

Abstract

Background information

Mexico faces a great challenge in producing, storing, and distributing food to guarantee the food security of its population. Natural disasters, climate change and changes in land cover are dynamic drivers affecting food production. In this study, we propose a method for assessing food security by evaluating the amount of food in Mexico that is available to meet the demand of its population. An indicator of food availability based on environmental, social, production and food supply variables is proposed.

Method

Food availability in Mexico's 2,471 municipalities was assessed using five sub-indicators covering environmental and social conditions of production, food supply, caloric and protein sufficiency, and food supply. A database of 19 variables was integrated to calculate an index of food availability by municipality. Spatial analysis techniques were used to identify areas with specific needs and to formulate public policy recommendations.

Results

The availability of food is not a problem at all in 90 percent of the municipalities in the country. We found that the environmental and social conditions are suitable for producing food from agriculture and livestock and there are sufficient food outlets. The caloric demand and protein requirements of the population can be met in at least 87 % of the municipalities. Thus, the environmental and social conditions are good in more than 85 % of the municipalities. If food production

and availability are sufficient, then the problem of food insecurity may be due to other causes.

Conclusions and recommendations

The conclusion is that food insecurity in Mexico is influenced by additional factors. An urgent intervention is needed, including public policies to provide economic support to the most affected segments of the population.

Keywords: food production; food supply; environmental conditions; social conditions.

4.1. Introduction

With less than a decade to go before the deadline for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), the reality is clear: global hunger will persist beyond 2030. New estimates, based on the frequency and intensity of conflicts, extreme climatic conditions and economic slowdowns, point to the urgent need for bold action to accelerate progress (FAO et al., 2021).

In this global scenario, it is estimated that between 720 and 811 million people worldwide will be hungry in 2020. Using the midpoint of this range (768 million) as a reference, this represents an increase of around 118 million people compared to 2019. The most affected regions remain Africa (21 % of countries), Asia (9 % of countries) and Latin America and the Caribbean with 9 % of total countries affected (FAO et al., 2021). The root of the problem lies in the large food systems, the myriad networks that have formed to produce, store, package, process, distribute, market and consume food (FAO et al., 2021). Infrastructure plays a critical role in food security. In Ethiopia, smallholder farmers, both men and women, face barriers such as limited access to agricultural infrastructure and facilities (Temesgen & Aweke, 2023).

In line with the complexity of food systems, the inaccessibility of healthy diets emerges as a critical factor linked to the increase in food insecurity and various forms of malnutrition due to the high prices of foods considered healthy. This challenge will become more pronounced by 2020 and will be a greater threat than

in previous periods, particularly in developing countries. The increase could be attributed to the responses adopted, in particular the closure of borders in response to the COVID-19 pandemic. It has now improved with trade openness, which plays a crucial role in improving food security, as in the case of 37 countries in Africa (Gnedeka & Wonyra, 2023). Opening community marketing sites has provided farmers in other countries with a secure outlet for their food production, linking smallholders to markets without conflicting with social and cultural norms (Lee et al., 2022).

Although FAO (2013) addressed food security through the prevalence of undernourishment, this indicator has been shown to fail to capture the complexity and multidimensional nature of food security. This is evident in places where food insecurity is alarming in all four dimensions, as pointed out by Mbunga et al. (2023). Currently, there are significant gaps in the methodologies used by FAO to measure food security and food availability. Although it uses indicators such as calorie adequacy and dietary diversity, it does not consider the dimensions of food utilisation and stability, which limits a comprehensive assessment (Manikas et al., 2023). Furthermore, the focus on national indicators of undernutrition based on food availability estimates does not adequately address the situation at the household level, given the limited data and knowledge at the household level (Headey & Ecker, 2013). In terms of food availability, the FAO focuses on physical access to food, neglecting emerging aspects such as environmental sustainability (Calloway et al., 2023). Although it assesses the sufficiency of food through production and imports (Rai, 2023), its focus on food balance sheets has limitations in accurately estimating the prevalence of malnutrition (Ambagna et al., 2019). Furthermore, regional measures used to measure food availability neglect the specificities of small scales (Bizier et al., 2022), highlighting the need for a more comprehensive and detailed approach to assess food security at the global level.

Given the limitations of current methodologies, the proposal for measuring food availability in the present work stands out for its comprehensive and detailed

approach, taking into account the environmental and social conditions of production, food supply, calorie and protein sufficiency, and food supply at the community level.

Also, there is a call for a comprehensive analysis of food insecurity that allows for the design of long-term, tailored interventions. It is therefore proposed that food security be addressed through these four dimensions: availability, physical and economic accessibility, use and stability of food in time, using specific indicators. An example of the application of these dimensions is the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (CEPAL), document for four Andean countries: Bolivia, Colombia, Ecuador and Peru (Martínez & Palma, 2014).

In addition, consideration of spatial and temporal changes in land cover (croplands, forests, grasslands and aquatic areas) is critical for assessing food security. These changes can either alleviate or exacerbate the challenge of food production in different environments (Lunyolo et al., 2020). In agricultural production areas, climate disruption can challenge crop productivity, affecting the world's ability to sustain adequate food production for a growing population (Leisner, 2020). Ocwa et al. (2023) found that a temperature increases of 1 to 4°C in warm areas led to a decrease in agricultural yields of 5 % to 14 %. In cold regions the global increase was less than 5 %. The decrease in precipitation led to a decrease in yields from 25 % to 32 %.

In this context, it is crucial to increase crop yields and productivity to address the impact of climate change on the nutritional value of these crops. For example, the adoption of seasonal climate-adapted agronomic practices for wheat systems in the Mediterranean suggests that there are effective agronomic practices that can be adopted by farmers to improve yields and make an effective contribution to food security (Carucci et al., 2023).

In this regard, Mexico is emerging as a country vulnerable to climate change and land use change, which are already affecting food production and consequently the food security of its population. At least 64 % of Mexican soils show some

degree of degradation, with 12 % of the territory affected by water erosion and 9.5 % by wind erosion (Santini et al., 2022). In addition, there is a public health crisis due to the increase in diet-related diseases, including malnutrition and obesity. The role of food and agriculture is increasingly seen as a strategic sector (Denham & Gladstone, 2020).

Food insecurity in Mexico is mainly due to the lack of resources to acquire quality food, exacerbated by food inflation, widespread unemployment, and low education, leading to severe food insecurity in several states (Díaz-Carreño et al., 2019; Marcial Romero et al., 2019). This situation is intensified by environmental impacts and an inadequate food supply that does not meet health standards (Monroy-Torres et al., 2021). Factors such as climate vulnerability, poverty rates, and the number of nutrition programs are critical to understanding this problem, highlighting the need for a multisectoral approach to policy and governance (Vilar-Compte et al., 2020). Food insecurity in Mexico also stems from various climatic, socioeconomic, and cultural aspects, particularly affecting indigenous communities with high rates of chronic malnutrition (González-Martell et al., 2022). Although there was a temporary decrease during the COVID-19 pandemic, the persistence of this problem highlights the urgency of addressing these causes in a comprehensive manner to ensure food security in the country (Gaitán-Rossi et al., 2021).

4.1.1. Conceptual framework

Food security is achieved when all people have physical and economic access to sufficient safe and nutritious food to satisfy their nutritional needs and preferences at all times, permitting them to lead an active and healthy life (FAO, 2011, p.2.). Thus, the four dimensions that are necessary to achieve food security and generate sustainable and functional food supply systems are as follows: 1) availability of food; 2) physical and economic access to food; 3) use of food and 4) stability over time.

In this paper, we propose an approach to measuring food security based on the first dimension proposed by FAO: the availability of food. Variables summarizing

the sources of information available at the municipal level for Mexico were obtained from a previous bibliographic review (Cruz-Sánchez et al., 2022). An indicator of food availability is proposed to measure food security in the country based on the definition of FAO (2011).

The concept of food availability has been addressed as the provision of sufficient food through production and distribution, which affects communities' access to food of adequate quality, whether from domestic or imported sources (Rai, 2023). This concept is explored through methods such as ration cards, community coping strategies, soup kitchens, and private provisioning in Jewish ghettos during World War II (Sinnreich, 2023). In addition, food sharing addresses the availability and distribution of food by reducing waste, redistributing to those in need, and promoting responsible consumption in line with sustainable development values in diverse communities (Saginova et al., 2021). Food availability and distribution in communities are critical components of the food system because they affect food security. This concept encompasses both the physical availability and accessibility of food within the food value chain (Roos & Ruthven, 2011).

The FAO defines food availability as "The existence of sufficient quantities of food of adequate quality, supplied through the country's production or imports (including food aid)" (FAO, 2006). In addition, the "food supply" is included as an important part of the dimension and is defined as "the quantity, quality and varieties of food subject to production (productive practices, environmental conditions, cost) and provision (supply, transportation) which in turn is conditioned by geographical location, climatic factors, distances from the production centers, among others" (García, 2011; FAO, 2011). In this study, the definition provided by FAO (2006) was used as a guideline for the formulation of the "food availability indicator"; however, some concepts addressed in the aforementioned studies were also considered.

There have been few studies of food availability in Mexico (Galeana-Pizaña et al., 2018). At the national level, the availability of food is measured in conjunction with

one or more of the other three dimensions. For example, physical access to food was measured considering the index of marginalization of the locality and the supply of food (Aguilar-Estrada et al., 2019). At the level of ecoregions, the food efficiency index was measured based on the production and consumption of food (Galeana-Pizaña et al., 2018). At the state level and for Mexico City, the availability of food was studied from the perspective of production (Salvador Martínez et al., 2021). On the household scale in Xochiapulco, Puebla, the variety of food available was measured, including determining how many months the household supplies would last (Zárate Guevara et al., 2016). Consequently, measuring the availability of food is key measuring food security. It allows monitoring the production, supply and quantity of food, as well as the sufficiency of food energy and the quality of diets for a specific population. However, fisheries, aquaculture and forest products also contribute to the availability of food (FAO et al., 2013).

Therefore, it is necessary to expand the study of food availability with the use of variables that determine it in a broader sense. In addition, the lack of application of these variables at the municipal level is noted in most studies since the most common measurement scales are at the national and state levels. The municipal scale is the smallest administrative unit for budget distribution Mexico, making it possible to identify the particular environmental, social, infrastructure or food production conditions of each municipality. Thus, our objective was to propose an indicator of the availability of food in Mexico at the municipal level through a set of variables to guide decision-makers in the correct application of comprehensive policies that contribute to improving national food conditions.

4.2. Method

Food availability was estimated for 2,471 municipalities in Mexico. Five subindicators were defined based on the concept of “food availability” as well as the “food supply” (Table 3), as detailed below:

- a) Environmental conditions for production: In terms of land potential, crop productivity is considered to be determined by interactions between climate and ecophysiological processes. It includes four variables: 1) water for production (considering whether the municipalities have irrigated agriculture), residual irrigation, temporary irrigation or a combination of these, 2) suitability of the land for agriculture, 3) suitability for livestock activities and 4) the degree of exposure to the climate.
- b) Social conditions of production: It refers to the characteristics of the population and the conditions in which producers operate when producing food. It is composed of six variables: 1) marginalization index (GM), which was taken from CONAPO, 2) lands without litigation regarding land ownership, 3) percentage of production units (PUs) that have insurance or agricultural credit, 4) percentage of PUs that indicated having received technical assistance, 5) percentage of PUs that are part of an organization and 6) the number of primary activities developed in the municipality (only agriculture, livestock and fishing were considered, excluding activities forestry due to lack of information).
- c) Provision of food: This includes the goods produced or provided by ecosystems such as food, water, fuel, fibers, genetic resources and natural medicines. In this indicator, three variables are integrated: 1) agricultural production, 2) livestock production and 3) fisheries production. The above reflects the annual production volume in tons (agricultural and livestock production) or in kilograms (fishing). It is worth mentioning that only those products that are edible for people were selected; products destined for livestock feed, ornamental plants or some other purpose, such as cotton, were excluded. Likewise, wax and wool were excluded livestock products, and only honey, meat, eggs, milk and live cattle were considered.
- d) Caloric and protein sufficiency: This is based on the caloric and protein requirements per capita proposed by FAO and WHO (1985), linked to the variety and quality of food consumed by the residents. It includes two variables: 1) availability of calories produced and 2) availability of proteins

produced in the municipalities. "Composition tables for food and food products" were used (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, 2016), from which the total calories and proteins contained in each of the products from production were obtained.

The availability of calories (Kcal) and proteins (Prot) in a municipality was obtained by:

$$\text{PopulationKcal} = [((V)/365)/2388] * 100/PTot \quad (1)$$

$$\text{PopulationProt} = [((V)/365)/35] * 100/PTot \quad (2)$$

Where PopulationKcal and PopulationProt are the percentage of the population of a municipality that would be covered with the production of food from the same municipality in terms of calories and proteins, respectively. V is the total annual volume of agricultural, livestock and fishing production (in grams), in turn converted to kcal and protein (converted to kcal and daily available protein); 2,388 and 35 are daily requirements of calories and proteins for an adult, respectively (FAO, 2020); and PTot is the total population of the municipality.

- e) Food supply: This is determined based on the food trade and the means to access it. The population mostly acquires its food in some trade, large or small. It integrates four variables: 1) percentage of the population supplied by the points of sale in the municipalities (INEGI-, excluding all establishments dedicated to the sale DENU of products other than food, including alcoholic beverages and cigarettes), defined based on the thresholds established by (Suárez-Lastra, 2016), considering the size of the points of sale: micro (1-10 employees), small (10-50 employees) and medium (51-300 employees) (ranges established by the World Bank), 2) percentage of the population benefited by markets and supply centers, 3) percentage of the population benefited by "tianguis" – This is a kind of "mobile market" that is semi-permanent on the street and on certain days of the week, according to the uses and customs of each population in the

country– and 4) inaccessibility, which is the percentage of the population with low or very low degree of accessibility to paved roads. This last variable shows an aggregate indicator of information on the existence of paved roads, location of the localities, slope of the terrain, type of vegetation, land use, existence of bodies of water, availability of public transport and travel time to the localities. with more than 15 thousand inhabitants.

Table 3. Weightings of the variables and sources of information used to measure food availability.

Food availability.

Variable	Unit	Class	Value	Source
1) Environmental conditions for production				
Humidity for production	Categorical	Irrigation-residual-temporary	3	(SIAP, 2020)
		Irrigation-temporary	2	
		Temporary	1	
		No data/No agriculture	0	
Suitability of the land for agriculture	Dimensionless	High (3.1-4)	3	(Monterroso-Rivas et al., 2018)
		Middle (2.1-3)	2	
		Low (1.1-2)	1	
		No data (1)	0	
Range coefficient	Animal unit/ha	Very Low (5)	5	(Monterroso-Rivas et al., 2018)
		Low (4-5)	4	
		Middle (3-4)	3	
		High (2-3)	2	
		Very High (1-2)	1	
		No data	0	
Exposure to the weather	Dimensionless	Very Low (5)	5	(Monterroso-Rivas et al., 2018)
		Low (4-5)	4	
		Middle (3-4)	3	
		High (2-3)	2	
		Very High (1-2)	1	
		No data	0	
2) Social conditions of production				
Marginalization Index (GM)	Dimensionless	Very low	5	(CONAPO, 2020)
		Low	4	
		Medium	3	
		High	2	
		Very high	1	
No litigation for the land	%	Very High (>75 %)	5	(INEGI, 2017)
		High (50-75 %)	4	
		Middle (25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	
		No data	0	
Primary activities	No.	4 primary activities	4	(SIAP, 2020)
		3 primary activities	3	

Variable	Unit	Class	Value	Source
		2 primary activities	2	
		1 primary activity	1	
		No data/None	0	
PU with agricultural insurance or credit	%	Very High (>75 %)	5	(INEGI, 2017)
		High (50-75 %)	4	
		Middle (25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	
		No data	0	
Technical training at PU	%	Very High (>75 %)	5	(INEGI, 2017)
		High (50-75 %)	4	
		Middle (25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	
		No data	0	
Organization of PU	%	Very High (>75 %)	5	(INEGI, 2017)
		High (50-75 %)	4	
		Middle (25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	
		No data	0	
3) Provision of food				
Agricultural production	Ton	Very high	4	(SIAP, 2020)
		High	3	
		Medium	2	
		Low	1	
		No data/No production	0	
Livestock production	Ton	Very high	4	(SIAP, 2020)
		High	3	
		Medium	2	
		Low	1	
		No data/No production	0	
Fishing and marine products	kg	Very high	4	(CONAPESCA, 2020)
		High	3	
		Medium	2	
		Low	1	
		No data/No production	0	
4) Caloric and protein sufficiency (produced)				
Calorie availability	%	High (80-100 %)	3	(SIAP, 2020)
		Middle (50-80 %)	2	
		Low (0-50 %)	1	
		No data/no production	0	
Protein availability	%	High (80-100 %)	3	(SIAP, 2020)
		Middle (50-80 %)	2	
		Low (0-50 %)	1	
		No data/no production	0	
5) Food supply				
Points of sale (economic units)	%	Very High (>75 %)	5	(INEGI, 2021)
		High (50-75 %)	4	
		Middle 25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	

Variable	Unit	Class	Value	Source
Markets	%	Very High (>75 %)	5	(CONEVAL, 2018)
		High (50-75 %)	4	
		Middle 25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	
Tianguis	%	Very High (>75 %)	5	(CONEVAL, 2018)
		High (50-75 %)	4	
		Middle 25-50 %)	3	
		Low (10-25 %)	2	
		Very Low (0-10 %)	1	
Inaccessibility	%	Very Low (0-10 %)	5	(CONEVAL, 2021)
		Low (10-25 %)	4	
		Middle 25-50 %)	3	
		High (50-75 %)	2	
		Very High (>75 %)	1	

4.2.1. Food availability index

A database was integrated with the 19 variables and the 2,471 municipalities that make up the country (INEGI, 2023). A score was obtained for each of the five subindicators (arithmetic sum of its variables) and then added again to obtain the index of food availability by municipality. The results were grouped into five classes (Table 4). The database was exported to a geographic information system (ArcMap 10.4.1, ESRI) to generate cartography.

Table 4. Values and classes of the food availability indicator.

Range	Class	Description:
0	0	No data/no availability of food in the municipality
(0.1 to 5.0)	1	Low availability of food in the municipality
(5.1 to 10.0)	2	Average availability of food in the municipality
(10.1 to 15.0)	3	High availability of food in the municipality
(>15)	4	Very high availability of food in the municipality

Finally, areas with potential for analysis and public policy recommendation were identified based on the spatial behavior of the food availability index obtained. That is, the class of availability in a municipality and the similarity with neighboring municipalities. For this, a spatial autocorrelation analysis was carried out between values of closest neighbors by applying the global Moran index (Moran, 1948). GeoDa software was used (Anselin et al., 2020) to calculate the statistics and the corresponding cartography. The values range between +1 and -1, where +1

indicates perfect positive autocorrelation, -1 denotes perfect negative autocorrelation and a value of 0 indicates the presence of completely random patterns in its spatial distribution (Chasco, 2003). To verify the level of significance, the value of 0.05 was used, so that if $p < 0.05$, the null hypothesis was rejected, suggesting that the attribute being analyzed is randomly distributed among the entities of the study area. Thus, if the p value is not statistically significant, the null hypothesis cannot be rejected, and the spatial distribution is likely the result of random processes. In contrast, if p is statistically significant, the null hypothesis is rejected, and there is evidence for the spatial grouping of the values.

4.3. Results

The results for each of the five subindicators are shown in Figure 6 and briefly described below.

Environmental conditions for food production (ECP). It was found that 26% of the municipalities of Mexico (648) observe "very high" environmental conditions to produce food. These municipalities are characterized by having sufficient humidity for agriculture throughout the year (temporary, irrigation or residual irrigation). They have suitable agroclimatic and soil conditions to produce crops or sustain livestock. Their exposure to climatic phenomena is low or very low (Table 5). Some examples are the municipalities of Joquicingo (State of Mexico), Quiroga (Michoacán), Asunción Ixtaltepec (Oaxaca), San Gregorio Atzompa (Oaxaca) and Tenancingo (Tlaxcala). In contrast, San Pedro Garza García (Nuevo León), Puerto Peñasco (Sonora), Nuevo Laredo (Tamaulipas) and Juárez (Chihuahua) present the lowest environmental conditions.

Table 5. Environmental conditions in the municipalities of Mexico.

Class	Municipalities	%	VARIABLES			
			Humidity	Crop suitability	Pasture	Exposure to weather

Very high environmental conditions	648	26	Irrigation-residual-temporary	High	More than 5 animals/ha	Low and very low
High environmental conditions	1457	59	Irrigation-temporary	Medium to high	More than 5 animals/ha	Medium to low
Average environmental conditions	357	14	Temporary	Medium to high	More than 5 animals/ha	High to very high
Low environmental conditions	9	0.4	Temporary	Low or not suitable	More than 5 animals/ha	No data

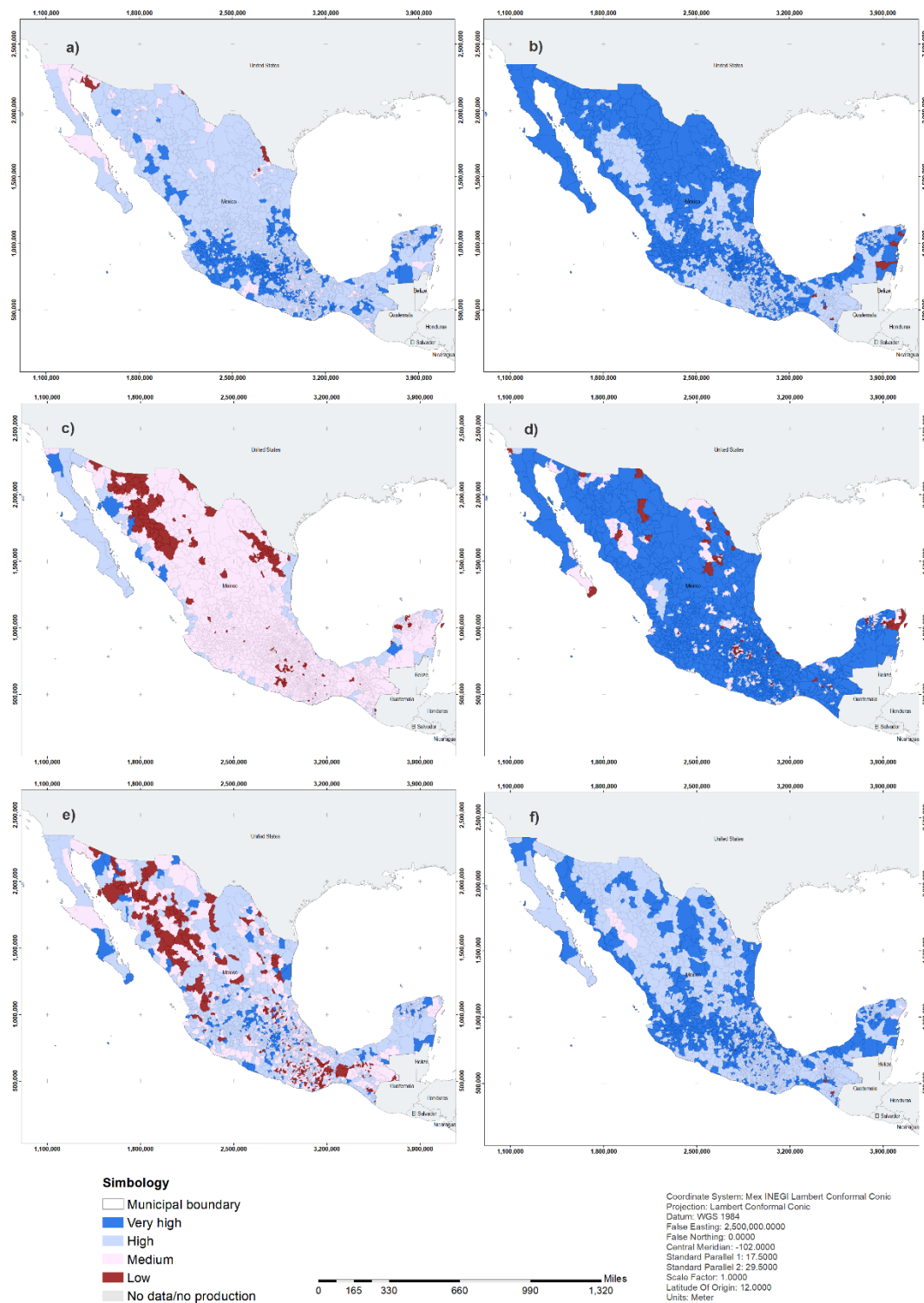


Figure 6. Spatial distribution at the municipal level of a) environmental conditions for production, b) social conditions, c) food supply, d) caloric and protein sufficiency, e) food supply and f) food availability in the municipalities of Mexico

Social conditions for food production (SCP). The results show that 99% of the municipalities have adequate social conditions for food production (Table 6). Municipalities such as Othón P. Blanco (Quintana Roo), Guasave (Sinaloa), Tuxpan (Veracruz) and Mérida (Yucatán) stand out. They are characterized by being municipalities with a very low index of marginalization, a diversity of primary activities (at least three), free of litigation over land, having several organizations that represent them, having access to agricultural insurance and/or credit, and receiving technical training. However, within the low social conditions there are three municipalities of Chiapas (Capitán Luis Ángel Vidal, Honduras de la Sierra and Rincón Chamula San Pedro) with a high degree of marginalization and no primary activities.

Table 6. Distribution of Mexican municipalities in social food production category.

Class	Municipalities	%	VARIABLES					
			Degree of marginalization	No litigation	Credit and/or insurance	Technical training	Organization	Number of primary activities
Very high social conditions	1120	45	Low	99.6	53.3	94.3	97.3	More than 3
High social conditions	1332	54	Medium	99.7	17.9	93.5	97.4	From 2 to 3
Average social conditions	4	0.2	Medium to High	98.9	0.0	49.7	57.2	2 or less
Low social conditions	15	1	Medium to High	No data	No data	No data	No data	At least 1

Provision of food (PF). Municipalities with a very high food supply are characterized by having a very high production and variety of agricultural, livestock and/or fishing products (Table 5). Outstanding examples are the municipalities of Ahome (Sinaloa), Culiacán (Sinaloa), Ensenada (Low California), Champotón and Cajeme (Sonora), mainly from the north of the country. Those that do not register food production stand out, San Pedro Garza García (Nuevo León), Iztapalapa (Mexico City), El Parral (Chiapas) and Ciudad Madero (Tamaulipas), to mention a few.

Table 7. Distribution of Mexican municipalities in the provision of food category.

Class		%	VARIABLES
-------	--	---	-----------

	Municipalities		Agricultural prod (ton) *	Agricultural variety	Livestock production (ton) *	Livestock variety	Fishing prod (kg) *	Fishing variety
Very high provision	7	0.3	1130679	25	141487	5	34437553	32
High provision	70	3	227587	13	33309	5	18481905	26
Average provision	2173	88	60324	7	14019	5	1436800	11
Low provision	199	8	4704	3	2873	3	1901804	8
No data/no provision	22	1	0.0	0	0	0	0.0	0

* Total production by 2020, taken from SIAP, 2020

Caloric and protein sufficiency (CPS). It was found that 80 % of the municipalities in Mexico can meet their calorie and protein requirements by having enough of their own food production. Some of them even exceed the requirements of their population by many (Table 6). Therefore, some municipalities that have low food production achieve this category since their population is small (Santiago Sochiapan in Veracruz, Ónavas and San Javier in Sonora). In contrast, municipalities such as Nuevo Laredo (Tamaulipas) observe little agricultural production but a very large population.

Table 8. Distribution of Mexican municipalities in the caloric and protein category.

Class	Municipalities	%	VARIABLES	
			Calorie coverage (%) *	Protein coverage (%) *
Very high sufficiency	1976	80	100	100
High sufficiency	165	7	65	80
Medium sufficiency	207	8	31	60
Low sufficiency	101	4	6	20
No data/no sufficiency	22	1	0	0

* Refers to percentage of population coverage for calories and proteins

Food supply (FS). Regarding points of sale, markets or tianguis, it was found that more than half of the municipalities observe high to very high coverage. In the case of markets and tianguis, the percentage of population coverage is medium, or they do not reach the entire population. The percentage of inaccessibility is

"very low", which is favorable for municipalities since only 6.7 % of the population does not have good accessibility (Table 9).

Table 9. Distribution of Mexican municipalities in the food supply category.

Class	Municipalities	%	VARIABLES			
			Point of sale coverage (%) *	Market coverage (%) *	Market coverage (%) *	Inaccessibility (%)
Very high offer	224	9	100	65	72	2.6
High bid	1113	45	80	41	45	6.7
Average offer	789	32	75	29	38	19.8
Low offer	345	14	39	21	34	42.6

* Refers to percentage of population coverage

Food Availability Indicator (FA)

By integrating the five dimensions, the food availability indicator was obtained. The contribution of each is shown in Figure 7. The results indicate that more than two-thirds of the municipalities have a high availability of food. That is, they have high environmental and social conditions for the production of food, so they provide food to their population, neighboring municipalities or even export food, and they have sufficient caloric and protein provision. Only 0.3 % of the municipalities (8) present low availability (Table 1010).

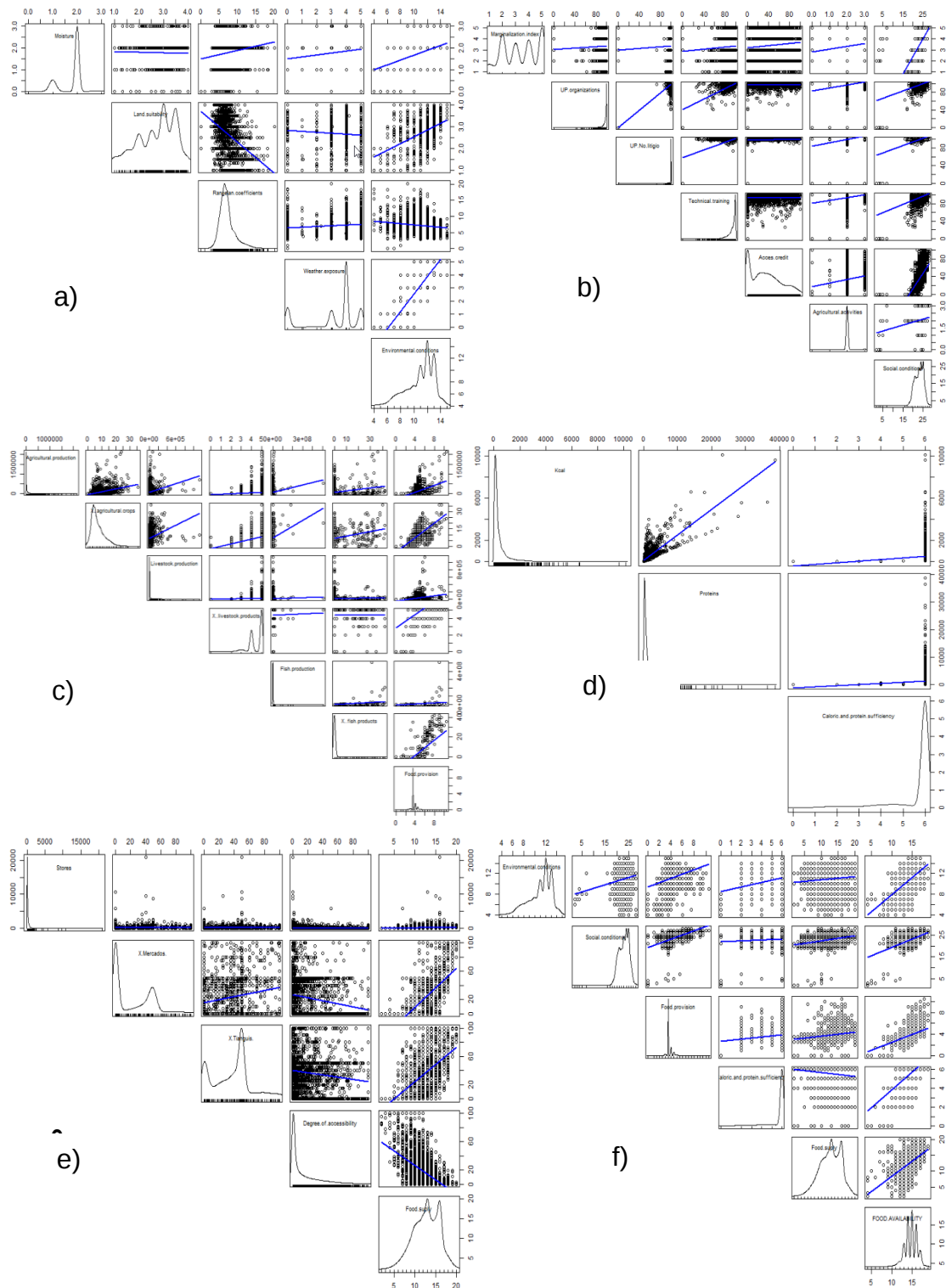


Figure 7. Correlation between variables and subindicators a) environmental conditions for production, b) social conditions, c) food supply, d) caloric and protein sufficiency, e) food supply and correlation between subindicators and indicator f) food availability.

Table 10. Distribution of Mexican municipalities in the categories of food availability

CATEGORY	MUNICIPALITIES	%	Subindicator *				
			ECP	SCP	PA	CPS	FS
Very high availability of food	781	32	Very high	Very high	Medium	Very high	High
High availability of food	1634	66	High	High	Medium	Very high	Medium
Average food availability	48	2	Medium	High	Low	Low	Medium
Low availability of food	8	0.3	Medium	Low	No data/no provision	No data/no sufficiency	Medium

* (ECP) environmental conditions for production; (SCP) social conditions for production; (PA) provision of food; (CPS) caloric and protein sufficiency; (FS) food supply.

Mexico has sufficient environmental and social conditions for food production. However, its provision of these is average, and nevertheless, the amount of calories and proteins that it produces is sufficient to fulfill the needs demanded by its population. In addition, the offer that exists to obtain food in Mexico is average. That said, it is assumed that although the country has good environmental and social conditions, it does not develop its maximum potential for the production or supply of food (Figure 7).

Spatial and neighborhood analysis (global Moran index)

The results of the global Moran index (0.315) indicate that there is a positive spatial correlation between the analyzed datasets; that is, they are statistically significant. There is a notable concentration of points in quadrants I and III (Figure 8) that suggests a predominant concentration of similar values of food availability. The areas with the most significant values are presented in the center of the country (Figure 9).

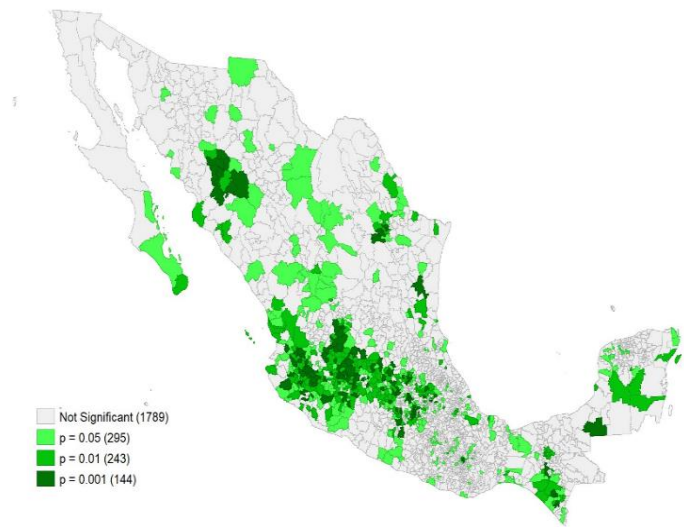
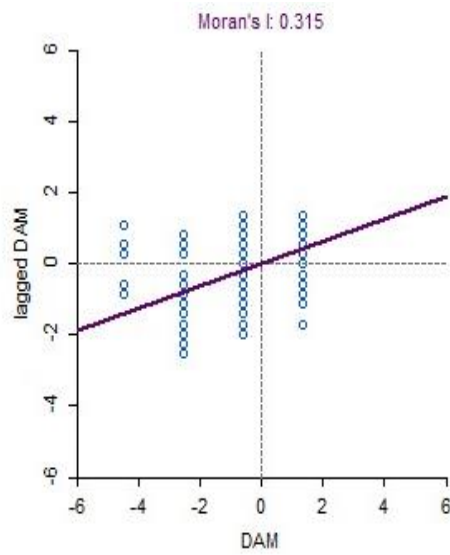


Figura 8. Global Moran Index: DA Figura 9. Significance map: DA

The positive value of the Moran index suggests that the spatial distribution of the high values and the low value of availability is more spatially clustered than could be expected if the underlying spatial processes were random. The spatial

correlation between the availability of food in a municipality and its neighbors is presented in Figure 10.

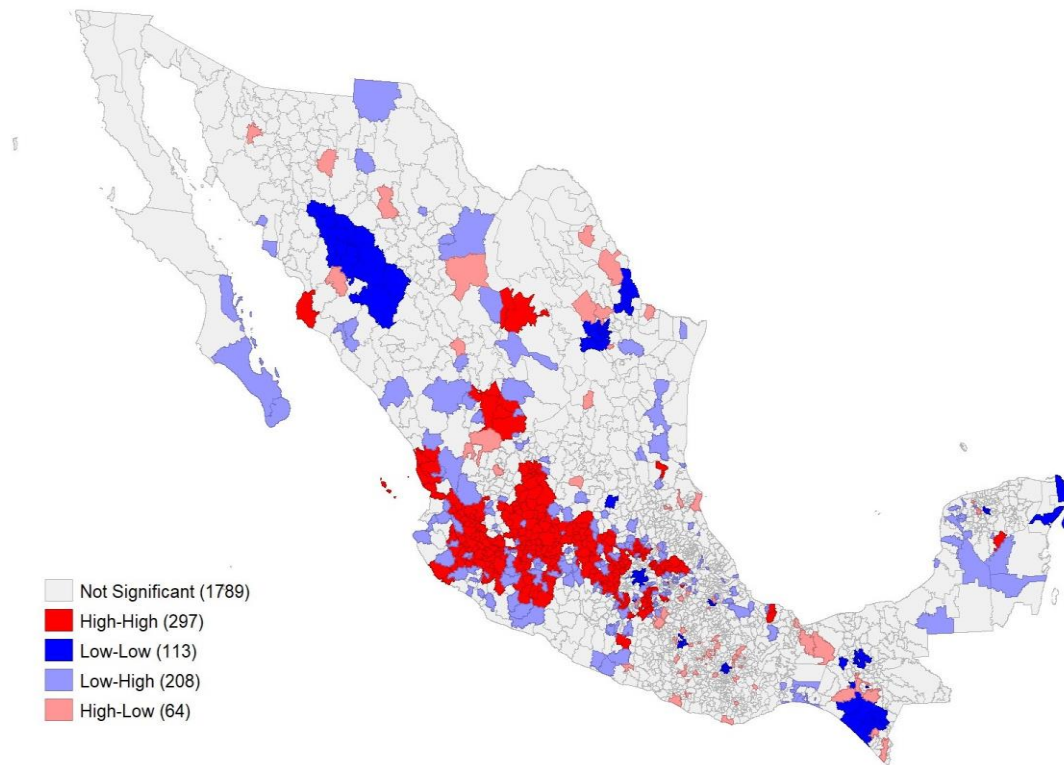


Figura 10. Food availability index in municipalities of Mexico and correlation with neighboring municipalities. The strong red color indicates that a municipality has high availability of food and its neighbors as well. In contrast, the strong blue color indicate

4.4. Discussion

Food security in Mexico is a problem which requires an interdisciplinary approach. Our results show evidence that there is no problem with food availability, as presented in other studies (Verónica Mundo-Rosas et al., 2019; Valencia-Valero & Ortiz-Hernández, 2014). This is because two-thirds (66 %) of the municipalities have high food availability and 32 % more have very high availability. As for the municipalities with low food availability (2 %), they are mostly located in the state of Chiapas, similar to what was found by Aguilar-Estrada et al. (2019). This is despite the efforts of federal social programs aimed at eliminating this condition in the state (Martínez-Rodríguez et al., 2015). Food insecurity in the southern

region of Mexico is also reflected in serious public health problems, particularly among children. Minors who are severely food insecure have a higher prevalence of anaemia compared to food secure households (Palacios-Rodríguez et al., 2019).

According to research, the global food industry produces enough food for the world's population and employs more than 22 million people (Kurbanova Consolador, 2022). It has been emphasized that the world has the capacity to produce enough food to feed one person for one year on 0.045 hectares of arable land through sustainable intensification of agro-ecosystems (Lal, 2016). Also, with sustainable practices, it has been found that food production could support 10.2 billion people within planetary boundaries, indicating significant potential for improving global food availability (Gerten et al., 2020).

The food supply results show that 78 % of the country's municipalities have a medium-high supply. This indicates that even in municipalities with no food production, food is available. Food is accessed through grocery stores, supermarkets and tianguis, which are very common in the country. However, this can lead to households in different areas of the country having a less diverse diet, based mainly on the consumption of cereals and low in fruits, vegetables and animal protein. Undesirable foods such as biscuits and fizzy drinks are also consumed (González-Martell et al., 2019). This contributes to problems of overweight and obesity, which are linked to food insecurity and are also risk factors for developing diseases such as diabetes. This is due to the high availability of processed foods and limited access to fruits and vegetables (Shamah-Levy et al., 2017).

In developed countries, several factors related to the food supply, such as the type, cost and variety of products offered at different points of sale, have been shown to have an impact on obesity rates. Issues such as the type and concentration of food outlets, food prices, distance to food outlets and the means of transport used to reach them also play an important role (Mwanri et al., 2012). The strategic location of food alternatives, such as local markets located at

transportation hubs, close to homes, or along commuter routes, especially for populations without their own vehicles, has been shown to be an effective way to improve food access in underserved areas (Chaput et al., 2018).

The country's food supply is sufficient when considering only the caloric and protein sufficiency produced. These results are consistent with previous studies, which state that Mexico produces more food than its population needs and is food self-sufficient (Baldivia & Ibarra, 2017). However, other studies indicate a trend towards loss of food self-sufficiency, with the exception of maize and beef (Galeana-Pizaña et al., 2018).

It will be possible to meet future food demand by increasing yields of major crops. This claim is based on the yield increases observed between 1980 and 2014, as assessed by Baldivia & Ibarra (2017), assuming that there is no additional arable land for expansion in Mexico. Specifically in rural areas, subsistence farming and commercialization are variables with positive economic effects on agricultural and livestock activities, especially in backyard farming, ensuring the prevalence of family traditions (González-Félix et al., 2021). It has been pointed out that the world produces enough food for the projected world population of 9.7 billion people in 2050, provided there is a radical societal shift to plant-based diets and food waste is reduced (Berners-Lee et al., 2018)

However, the increase in the price of agricultural products is attributed to the cost of transportation, which limits their accessibility despite their availability (FAO, 2014). The annual wage increase in Mexico does not counteract the rising costs of food, services, and transportation, with poverty being a determining factor in food insecurity. Although federal programs and policies such as “Oportunidades”, “Procampo” and “Adulto Mayor” have contributed to a 9 % reduction in poverty, there is evidence of the need for more effective alternatives (Chapa et al., 2022). According to Muñoz-Rodríguez et al. (2020), the high failure rate of Mexican family gardens is consistent with the prevailing policy approach, which sees the problem of food security as a 'lack of assets' for production. This suggests a weak link between the problem and policy.

In the United States, despite the rise in food prices, annual wage increases can help offset their impact because disposable personal income has historically risen faster than food prices, which have kept the share of food expenditures constant (Clauson, 2015). In India, by contrast, increasing annual wages in agriculture would require an 80 percent increase in crop prices in the short run to offset the wage impact, or a 140 percent increase to offset the increase in rural non-farm wages (Binswanger & Singh, 2018). Then, raising the minimum wage can help offset the impact of higher food prices by increasing workers' purchasing power, reducing poverty, and improving overall economic stability (Dervishi, 2023).

The implementation of public policies based on the promotion of productive structures, taking into account regional differences, could be a viable strategy (Mina & De Anda Casas, 2021). Small-scale studies are proving to be indispensable tools for identifying specific problems in each region and ensuring the success of tailored public policies. Despite the challenges, policy such as social grants show that cash transfers increase household income and diversify diets, contributing to food security (Mundo-Rosas et al., 2019).

The multivariate approach of this study has been key to understanding the complex dynamics of food availability in Mexico. The integration of multiple sub-indicators allowed us to comprehensively address the factors that influence food availability at the municipal level. By contextualizing the results at the global level, opportunities for improving food policies were identified. In summary, this study offers valuable insights that can contribute to more effective strategies to promote food security in Mexico and internationally.

4.5. Conclusions

Food availability in Mexico was measured at the municipal level. The selected variables made it possible to empirically explain the availability of food in the municipalities. Based on the results, it is possible to identify some of the problems that each municipality faces: environmental, social, productive stagnation of the

agricultural sector, lag of its productive structure or even the dismantling of the production base.

The results are not definitive, but it is possible to conclude that food availability is not an issue (production and distribution) in most municipalities. That is, there are moderately appropriate environmental and social conditions for production. Therefore, the issue of food insecurity in Mexico is influenced by additional factors that warrant a more thorough analysis. Hence, the need for a deeper exploration of the underlying elements contributing to food insecurity in the Mexican context becomes evident, taking into account broader and more complex aspects of its socio-economic structure. This and the other dimensions of food security should be studied further at the same municipal scale. This will allow for a more in-depth identification of the problems so they can be addressed more directly.

One of the main limitations encountered in this study was the difficulty in accessing data at small scales, particularly at the municipal level. It is therefore recommended that any attempt to replicate this methodology should ensure the availability of information on the variables used at the appropriate scale.

Acknowledgements:

This research is part of YCS's doctoral dissertation at the Universidad Autónoma Chapingo in Mexico. We thank to National Council of Science and Technology (CONAHCYT), Universidad Autónoma Chapingo, DGIP, Departamento de Fitotécnia, as well as the Doctoral Program in Multifunctional Agriculture. We gratefully acknowledge the comments and suggestions of anonymous reviewers, whose comments have substantially improved the paper.

Author contributions: Authors YCS and AIMR conceptualized the study and did the first write-up. Author YCS designed the data collection tools and most of the analysis. Authors AAE and JBM contributed to the review and overall supervision of the research. All the authors read and approved the final manuscript.

Funding: This research received no external funding. YCS received a scholarship from the National Council of Science and Technology (CONAHCYT). The APC was funded by DGIP program by Universidad Autónoma Chapingo.

Availability of data and materials: The first author will provide data upon reasonable request.

Ethics approval and consent to participate: Not applicable.

Consent for publication: Not applicable.

Competing interests: The authors declare that they have no conflict of interest.

4.6. References

- Aguilar-Estrada, A. E., Caamal-Cauich, I., Barrios-Puente, G., & Ortiz-Rosales, M. Á. (2019). ¿Hambre en México? Una alternativa metodológica para medir seguridad alimentaria. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.625>
- Ambagna, J. J., Dury, S., & Dop, M. C. (2019). Estimating trends in prevalence of undernourishment: advantages of using HCES over the FAO approach in a case study from Cameroon. *Food Security*, 11(1), 93–107. <https://doi.org/10.1007/s12571-018-00884-w>
- Anselin, L., Syabri, I., & Kho, Y. (2020). GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis (1.18.0.0.). <https://geodacenter.github.io/>
- Baldivia, A. S., & Ibarra, G. R. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: Un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de Población*, 23(93), 207 – 230. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.027>
- Berners-Lee, M., Kennelly, C., Watson, R., & Hewitt, C. N. (2018). Current global food production is sufficient to meet human nutritional needs in 2050 provided there is radical societal adaptation. *Elementa*, 6. <https://doi.org/10.1525/elementa.310>
- Binswanger, H. P., & Singh, S. K. (2018). Wages, Prices and Agriculture: How Can Indian Agriculture Cope with Rising Wages? *Journal of Agricultural Economics*, 69(2), 281–305. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12234>
- Bizier, V., Gennari, P., & Kalamvrezos Navarro, D. (2022). Role of international, regional and country organizations in adapting to statistical standards and regional differences: The case of food and agriculture statistics. *Statistical Journal of the IAOS*, 38, 511–532. <https://doi.org/10.3233/SJI-220003>
- Calloway, E. E., Carpenter, L. R., Gargano, T., Sharp, J. L., & Yaroch, A. L. (2023). New measures to assess the “Other” three pillars of food security—availability, utilization, and stability. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 20(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s12966-023-01451-z>
- Carucci, F., Gatta, G., Gagliardi, A., Bregaglio, S., & Giuliani, M. M. (2023). Individuation of the best agronomic practices for organic durum wheat cultivation in the Mediterranean environment: a multivariate approach. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00417-5>

- Chapa, J., Ayala, E., & Ramírez, N. (2022). IMPACT of MEXICO'S SOCIAL PROGRAMS ON POVERTY; [IMPACTO DE LOS PROGRAMAS SOCIALES DE MÉXICO EN LA POBREZA]. *Investigacion Economica*, 81(320), 35 – 61. <https://doi.org/10.22201/FE.01851667P.2022.320.81156>
- Chaput, S., Mercille, G., Drouin, L., & Kestens, Y. (2018). Promoting access to fresh fruits and vegetables through a local market intervention at a subway station. *Public Health Nutrition*, 21(17), 3258–3270. <https://doi.org/10.1017/S1368980018001921>
- Clauson, A. L. (2015). Despite Higher Food Prices, Percent of U.S. Income Spent on Food Remains Constant. *AgEcon Search*, 18. <https://ageconsearch.umn.edu/record/124033>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). (2020). Tabla de la producción pesquera por oficina de pesca del año 2020. *Producción Pesquera*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/produccion-pesquera/resource/18328b09-4718-4060-814d-fc416bca587a>
- CONEVAL. (2018). Tianguis y mercados semifijos. Cobertura de Servicios Públicos. <http://sistemas.coneval.org.mx/DATAMUN/dato-actualizado?e=01&m=01001&sg=3&g=23>
- CONEVAL. (2021). Grado de accesibilidad a carretera pavimentada (GACP) 2020 (p. 29). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5544244&fecha=20/11/2018&print=true
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2020). Índices de marginación. Documentos. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- Cruz-Sánchez, Y., Baca del Moral, J., Ramírez García, A. G., & Monterroso-Rivas, A. I. (2022). Enfoques metodológicos de evaluación de seguridad alimentaria en México. *Revista De Filosofía*, 39(100), 530–551. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.6028687>
- Denham, D., & Gladstone, F. (2020). Making sense of food system transformation in Mexico. *Geoforum*, 115, 67–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.05.024>
- Dervishi, B. (2023). The effect of minimum wage increases on inflation. *International Journal of Research in Business and Social Science*, 8(6), 292–300. https://www.academia.edu/download/71189556/Leadership_and_Organizational_Distress_Review_of_Literature.pdf
- Díaz-Carreño, M. Á., Sánchez-Cándido, L. V., & Herrera Rendón-Nebel, M. T. (2019). La inseguridad alimentaria severa en los estados de México: Un análisis a partir del enfoque de las capacidades 2008-2014. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53), 24. <https://doi.org/DOL: https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.684>

- FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. FAO, México. <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2021). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb4474es>
- FAO, FIDA, & PMA. (2013). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2013. Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria. In FAO, Roma. <https://www.fao.org/4/i3434s/i3434s00.htm>
- Gaitán-Rossi, P., Vilar-Compte, M., Teruel, G., & Pérez-Escamilla, R. (2021). Food insecurity measurement and prevalence estimates during the COVID-19 pandemic in a repeated cross-sectional survey in Mexico. *Public Health Nutrition*, 24(3), 412–421. <https://doi.org/10.1017/S1368980020004000>
- Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., & Monsivais-Huertero, A. (2018). Assessing food security and environmental protection in Mexico with a GIS-based Food Environmental Efficiency index. *Land Use Policy*, 76, 442–454. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.022>
- García, L. (2011). Seguridad Alimentaria y Nutricional. *NUTRICIÓN*, 28–29. <https://www.elika.eus/wp-content/uploads/sites/10/2019/11/Sr.-Juan-Juli%C3%A1n-Garc%C3%ADa.-Ley-de-seguridad-Alimentaria-y-Nutrici%C3%B3n.pdf>
- Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J., Bodirsky, B. L., Fetzer, I., Jalava, M., Kummu, M., Lucht, W., Rockström, J., Schaphoff, S., & Schellnhuber, H. J. (2020). Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 3(3), 200–208. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0465-1>
- Gnedeka, K. T., & Wonyra, K. O. (2023). New evidence in the relationship between trade openness and food security in Sub-Saharan Africa. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00439-z>
- González-Félix, G. K., Guevara, V. M.-P., Peinado-Guevara, H. J., Cuadras-Berrelleza, A. A., Herrera-Barrientos, J., López-López, J. de J., & Guadalupe, Z.-E. N. (2021). Backyard agricultural and farm activity as an option of socioeconomic and food improvement in the rural towns of the municipality of guasave, sinaloa. *Sustainability (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/su13073606>
- González-Martell, A. D., Cilia-López, V. G., Aradillas-García, C., de León, A. C.-D., de la Cruz-Gutiérrez, A., Zúñiga-Bañuelos, J., García-Aguilar, N., González-Cortés, C., & Barriga-Martínez, F. D. (2019). Food and nutritional security in an indigenous community of Mexico; [Laseguridadalimentariay nutricional enunacomunidadindígenade México]. *Revista Espanola de Nutricion Comunitaria*, 25(3), 113 – 117. <https://doi.org/10.14642/RENC.2019.25.3.5289>

- González-Martell, A. D., Sánchez-Quintanilla, E. E., García-Aguilar, N., Contreras-Hernández, T., & Cilia-López, V. G. (2022). Vulnerability for food insecurity: Experiences of indigenous families in the Huasteca Potosina region, Mexico. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), 14. <https://doi.org/10.2307/40184061>
- Headey, D., & Ecker, O. (2013). Rethinking the measurement of food security: from first principles to best practice. *Food Security*, 5(3), 327–343. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0253-0>
- INEGI. (2023). Marco Geoestadístico. Geografía y Medio Ambiente. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. (2016). Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (Versión condensada 2015). https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS_ALIMENTOS.pdf
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2017). Encuesta Nacional Agropecuaria. Programas de Información. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2021). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Servicios. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Kurbanova Consolador, A. (2022). A review of the world food industry. *Asian Journal of Multidimensional Research*, 11(3), 92–98. <https://doi.org/10.5958/2278-4853.2022.00048.9>
- Lal, R. (2016). Feeding 11 billion on 0.5 billion hectare of area under cereal crops. *Food and Energy Security*, 5(4), 239–251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fes3.99>
- Lee, H. B., McNamara, P. E., & Bhattacharyya, K. (2022). Does linking women farmers to markets improve food security? Evidence from rural Bangladesh. *Agriculture & Food Security*, 11(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s40066-022-00373-6>
- Leisner, C. P. (2020). Review: Climate change impacts on food security- focus on perennial cropping systems and nutritional value. *Plant Science*, 293, 110412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110412>
- Lunyolo, L. D., Khalifa, M., & Ribbe, L. (2020). Assessing the interaction of land cover/land use dynamics, climate extremes and food systems in Uganda. *Science of The Total Environment*, 142549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142549>
- Manikas, I., Ali, B. M., & Sundarakani, B. (2023). A systematic literature review of indicators measuring food security. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00415-7>
- Marcial Romero, N., Sangerman- Jarquín, D. M., Hernández Juárez, M., León Merino, A., & Escalona Maurice, M. J. (2019). Vulnerabilidad alimentaria en hogares

rurales y su relación con la política alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 935–945.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1746>

- Martínez-Rodríguez, J. C., García-Chong, N. R., Trujillo-Olivera, L. E., & Noriero-Escalante, L. (2015). Food insecurity and social vulnerability in chiapas : The face of poverty; [Inseguridad alimentaria y vulnerabilidad social en Chiapas: El rostro de la pobreza]. *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), 475 – 481.
<https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7944>
- Martínez, R., & Palma, A. (2014). Seguridad alimentaria y nutricional en cuatro países andinos. Una propuesta de seguimiento y análisis. *Políticas Sociales*, 103.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/36773-seguridad-alimentaria-nutricional-cuatro-paises-andinos-propuesta-seguimiento>
- Mbunga, B. K., Mapatano, M. A., Egbende, L., Strand, T. A., Hatloy, A., & Engebretsen, I. M. S. (2023). An example of a convergent mixed-methods analysis to examine food security: the case of Popokabaka in the Democratic Republic of Congo. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00443-3>
- Mina, O. E. C., & De Anda Casas, A. (2021). Productive structure and poverty in Mexico: A municipal analysis by three regions; [Estructura productiva laboral y pobreza en México: Análisis municipal en tres regiones]. *Desarrollo y Sociedad*, 2021(88), 129 – 168. <https://doi.org/10.13043/DYS.88.4>
- Monroy-Torres, R., Castillo-Chávez, Á., Carcaño-Valencia, E., Hernández-Luna, M., Caldera-Ortega, A., Serafín-Muñoz, A., Linares-Segovia, B., Medina-Jiménez, K., Jiménez-Garza, O., Méndez-Pérez, M., & López-Briones, S. (2021). Food Security, Environmental Health, and the Economy in Mexico: Lessons Learned with the COVID-19. *Sustainability*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/su13137470>
- Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, A. C., Pérez-Damian, J. L., López-Blanco, J., & Gaytan-Dimas, M. (2018). Multi-temporal assessment of vulnerability to climate change: insights from the agricultural sector in Mexico. *Climatic Change*, 147, 457–473. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2157-7>
- Monterroso-Rivas, A. I., Gómez-Díaz, J. D., Toledo-Medrano, M. L., & Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera*, 24(1), 69–88.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362011000100006&lng=es&tlng=en
- Mundo-Rosas, V, Unar-Munguía, M., Hernández-F., M., Pérez-Escamilla, R., & Shamah-Levy, T. (2019). Food security in Mexican households in poverty, and its association with access, availability and consumption [La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México: Una mirada desde el acceso, la disponibilidad y el consumo]. *Salud Publica de Mexico*, 61(6), 866–875.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85076417053&doi=10.21149%2F10579&partnerID=40&md5=6aba08b945d0f36880b592a7c14bfb0

- Mundo-Rosas, Verónica, Unar-Munguía, M., Hernández-F, M., Pérez-Escamilla, R., & Shamah-Levy, T. (2019). La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México: una mirada desde el acceso, la disponibilidad y el consumo. *Salud Pública de México*, 61(6), 866–875. <https://doi.org/10.21149/10579>
- Muñoz-Rodríguez, M., Fernández-González, C., Aguilar-Gallegos, N., & González-Santiago, M. V. (2020). The primacy of politics in public food security policies: The case of home gardens. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/su12104316>
- Mwanri, L., Foley, W., Coveney, J., Muller, R., Verity, F., Ward, P. R., Carter, P., Mohr, P., & Taylor, A. (2012). Food supply and the obesity scourge: Is there a relationship? *Health (United Kingdom)*, 4(12), 1457–1463. <https://doi.org/10.4236/health.2012.412A210>
- Ocwa, A., Harsanyi, E., Széles, A., Holb, I. J., Szabó, S., Rátónyi, T., & Mohammed, S. (2023). A bibliographic review of climate change and fertilization as the main drivers of maize yield: implications for food security. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00419-3>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. FAO, México. <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>
- Palacios-Rodríguez, G. O., Mundo-Rosas, V., Parra-Cabrera, S., García-Guerra, A., Galindo-Gómez, C., & Méndez Gómez-Humarán, I. (2019). Household food insecurity and its association with anaemia in Mexican children: National Health and Nutrition Survey 2012. *International Journal of Public Health*, 64(8), 1215 – 1222. <https://doi.org/10.1007/s00038-019-01305-1>
- Rai, S. C. (2023). Analysis of Food Availability. In *Food and Livelihood Securities in Changing Climate of the Himalaya* (pp. 117–124). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22817-9_6
- Roos, J. A., & Ruthven, G. (2011). Food system analysis: an assessment of food availability and accessibility. Conference of the ISEM 2011 Proceedings, Stellenbosch, South Africa. “Innovative Systems Thinking: Unravelling Complexity for Successful Solutions”. 21 - 23 September 2011., 1–10. <http://ir1.sun.ac.za/handle/10019.1/46723>
- Saginova, Olga, Zavyalov, Dmitry, Kireeva, Natalia, Zavyalova, Nadezhda, & Saginov, Yury. (2021). Food-sharing in the distributed use economy. *E3S Web Conf.*, 247, 1016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701016>
- Salvador Martínez, L., Hernández, L. G., & Alvarado Ramírez, D. (2021). Cadenas cortas de comercialización y seguridad alimentaria: El caso de El Mercado el 100.

Problemas Del Desarrollo, 52(206), 197–220.
<https://doi.org/10.22201/IIEC.20078951E.2021.206.69732>

Santini, N. S., Cuervo-Robayo, A. P., & Adame, M. F. (2022). Agricultural Land Degradation in Mexico. In P. Pereira, M. Muñoz-Rojas, I. Bogunovic, & W. Zhao (Eds.), *Impact of Agriculture on Soil Degradation I* (pp. 301–323). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/698_2022_915

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Cierre agrícola municipal. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Flores-De la Vega, M. M., & Luiselli-Fernández, C. (2017). Food security governance in Mexico: How can it be improved? *Global Food Security*, 14, 73–78.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.05.004>

Sinnreich, H. J. (2023). The Supply and Distribution of Food: Strategies and Priorities. In *The Atrocity of Hunger: Starvation in the Warsaw, Lodz and, Krakow Ghettos during World War II* (pp. 54–76). Cambridge University Press.
https://trace.tennessee.edu/utk_tome/3

Suárez-Lastra, M. (2016). Jerarquía urbana y la distribución espacial de firmas en México. *Geografía de México. Una Reflexión Espacial Contemporánea*, 719–729.
<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/105>

Temesgen, H., & Aweke, C. S. (2023). A scoping review on the impacts of smallholder agriculture production on food and nutrition security: Evidence from Ethiopia context. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00449-x>

Valencia-Valero, R. G., & Ortiz-Hernández, L. (2014). Disponibilidad de alimentos en los hogares mexicanos de acuerdo con el grado de inseguridad alimentaria. *Salud Publica de Mexico*, 56(2), 154–164. <https://doi.org/10.21149/spm.v56i2.7331>

Vilar-Compte, M., Gaitán-Rossi, P., Flores, D., Pérez-Cirera, V., & Teruel, G. (2020). How do context variables affect food insecurity in Mexico? Implications for policy and governance. *Public Health Nutrition*, 23(13), 2445–2452.
<https://doi.org/10.1017/S1368980019003082>

Zárate Guevara, G. S., Méndez Espinoza, J. A., Ramírez Juárez, J., & Olvera Hernández, J. I. (2016). Análisis de la seguridad alimentaria en los hogares el municipio de Xochiapulco Puebla, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 25, 67–85.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4174400400>

CAPÍTULO 5: EL ACCESO A LOS ALIMENTOS EN MÉXICO: CLAVE PARA LA SOBERANÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Artículo en Revisión en Revista AGROALIMENTARIA

Yadihra Cruz-Sánchez, Alma Aguilar-Estrada, Julio Baca-del Moral, Alejandro Ismael Monterroso-Rivas. 2024. El acceso a los alimentos en México: clave para la soberanía y seguridad alimentaria. En revisión revista AGROALIMENTARIA.
<http://erevistas.saber.ula.ve/agroalimentaria>

Resumen

El estudio tiene como objetivo principal mostrar un indicador que refleje el acceso físico y económico a los alimentos que tienen las familias en los municipios de México. Se ha encontrado que la disponibilidad de alimentos no ha sido un problema en el país, por lo tanto, se busca comprender las causas de los problemas de la seguridad alimentaria. Dado que el país tiene diferencias marcadas en todo su territorio, se aboga por analizar la seguridad alimentaria a escalas pequeñas para abordar las características propias de cada municipio. Partiendo de la definición de la FAO sobre el acceso a los alimentos y una previa revisión de literatura, se construyó un indicador compuesto de acceso físico y económico a los alimentos utilizando datos de ocho variables a nivel municipal. Estas variables se agruparon en tres subindicadores: acceso físico, acceso económico y acceso económico estatal. Las variables fueron ponderadas y a través de la suma algebraica se obtuvieron los valores de los subindicadores e indicador, los cuales fueron clasificados en cuatro categorías: bajo, medio, alto y muy alto. Se generó cartografía de los resultados y se incluyó el análisis de datos geoespaciales con el Índice Global de Moran para evaluar la autocorrelación espacial. Se encontró que 34,4 % de los municipios del país presentan bajo acceso físico a los alimentos, mientras que 40,6 % de los municipios están presentados con acceso económico medio. El indicador mostró que 25,4 % de los municipios se ubican con condiciones bajas de acceso físico y económico a los alimentos, siendo la zona sur del país la más afectada, otro 64 % están en condiciones de acceso medio. Se destaca la importancia de adoptar una visión

integrada de la seguridad alimentaria en México y se sugiere que abordar estas desigualdades podría conducir a una transformación del sistema alimentario en el país.

Palabras clave: Economía, canasta básica, infraestructura, comercios, distribución espacial.

Abstract

The main objective of the study is to present an indicator that reflects the physical and economic access to food that families have in the municipalities of Mexico. It has been found that food availability has not been a problem in the country, therefore it seeks to understand the causes of food security problems. Given that the country has marked differences throughout its territory, it is advocated to analyze food security at small scales to address the specific characteristics of each municipality. Based on the FAO definition of food access and a previous literature review, a composite indicator of physical and economic access to food was constructed using data from eight variables at the municipal level. These variables were grouped into three sub-indicators: physical access, economic access, and government economic access. The variables were weighted and through algebraic summation the values of the sub-indicators and the indicator were obtained, which were classified into four categories: low, medium, high and very high. The results were mapped, and geospatial analysis was performed using the Moran Global Index to assess spatial autocorrelation. It was found that 34.4 % of the country's municipalities have low physical access to food, while 40.6% of the municipalities have medium economic access, where, the south has the worst conditions, while the north is more favorable, in economic terms. The indicator shows that 25.4 % of municipalities are located in low conditions of physical and economic access to food, with the southern zone of the country being the most affected, and another 64 % in medium conditions of access, evenly distributed throughout the country. It highlights the importance of adopting an integrated vision of food security in Mexico and suggests that addressing these inequalities could lead to a transformation of the food system in the country.

Keys words: Economy, basic food basket, infrastructure, supermarkets, spatial distribution.

5.1. Introducción

Los medios de vida para las personas vulnerables y marginadas del mundo siguen siendo precarios en torno a los sistemas alimentarios. La producción y distribución de alimentos supone costos elevados por lo que sigue habiendo desigualdades en todos los niveles (HLPE, 2020). Consecuencia de lo anterior se agravan los problemas de pobreza y seguridad alimentaria, principalmente de los pequeños productores, las mujeres, los jóvenes, los pueblos indígenas y los trabajadores de los sistemas alimentarios en situación vulnerable (FAO et al., 2023). Recientemente, las carencias económicas en el mundo han empeorado a causa de los efectos de la pandemia del COVID-19, reflejándose en consecuencias negativas para la seguridad alimentaria (HLPE, 2020).

La seguridad alimentaria se logra cuando todas las personas pueden acceder física y económicamente, en cualquier momento, a una cantidad adecuada de alimentos seguros y nutritivos que satisfacen sus necesidades alimenticias y preferencias, permitiéndoles llevar una vida activa y saludable (Gordillo & Méndez, 2013). Resalta así los componentes de la seguridad alimentaria: *disponibilidad, acceso, uso y estabilidad* (FAO, 2008). La *disponibilidad*, ya sea a nivel local o nacional, se refiere a la cantidad total de alimentos, considerando la producción, importaciones, almacenamiento y ayuda alimentaria, mientras que el *acceso* se centra más en los ingresos y gastos, el acceso y control sobre los medios de producción (tierra, agua, insumos, tecnología, conocimiento) y a los alimentos disponibles en el mercado (PESA, 2011). Por su parte el *uso* proviene de la ingesta adecuada de energía y nutrientes, resultado de prácticas saludables de alimentación, la preparación adecuada de los alimentos, la diversidad en la dieta y la distribución eficiente de los alimentos en los hogares. La *estabilidad*, como factor final, conecta las tres dimensiones previas, focalizándose en abordar las condiciones de inseguridad alimentaria transitoria, ya sea de carácter cíclico o estacional. Esto se hace en reconocimiento de que la falta periódica de acceso

a los alimentos representa un riesgo para la condición nutricional de las personas (FAO, 2011).

El caso de México, la producción agrícola y ganadera sugiere que la disponibilidad de alimentos puede ser adecuada para casi todo el país (Cruz-Sánchez et al., 2024). Sin embargo, la capacidad para poder tener acceso real a los alimentos puede estar limitada en las familias debido principalmente al ingreso.

El precio de los alimentos es una de las muchas formas en que se puede agravar la situación de la seguridad alimentaria. Al aumentar el costo entre los alimentos saludables en comparación con los menos saludables, se generan resultados desfavorables para la salud si se sustituyen por alimentos menos costosos y poco saludables. Las implicaciones de equidad y los grupos socioeconómicos más bajos serán los más afectados, dado que actualmente los hogares gastan más de la mitad de sus ingresos semanales en alimentos (Bradbear & Friel, 2013).

El acceso físico y económico a los alimentos está relacionado al poder de adquisición o compra de ellos por las familias. Es la capacidad económica de los hogares para conseguir los alimentos nutritivos cerca del hogar (González-Catalán & Rodríguez-Orozco, 2022). Depende completamente de las fuentes de trabajo y los ingresos de las familias, sin embargo, el acceso físico también toma influencia directa en la adquisición de los alimentos. Se relaciona directamente con el abasto de materias primas, redes de distribución, conectividad entre las comunidades, entre otros.

Por otro lado, el salario de las familias no sólo se destina a la compra de los alimentos, sino también a gastos necesarios como vivienda, vestido, consumo cultural, entre otros (Casas Patiño et al., 2016). De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), el 34,1 % del ingreso de los hogares mexicanos, es destinado por las familias para la compra de alimentos y bebidas (INEGI, 2022). Los hogares más pobres destinan el 50,7 % de su

presupuesto en alimentos frente al 22,5 % que gastan las familias de mayores ingresos (Shamah-Levy et al., 2017).

Por su parte, el acceso físico se refiere a la connotación geográfica o distancia física a la que se encuentran los insumos o servicios a las cuales se pretende acceder. En este caso, la información para el país es escasa. Es posible incluir información de carreteras pavimentadas, análisis espaciales en cuanto a transporte, características geomorfológicas, hidrológicas y edafológicas del país, entre otras (Chias Becerril et al., 2001). De acuerdo con CONEVAL, en su estudio de accesibilidad a carretera pavimentada, reporta que, en el año 2020, el 40,1 % de las localidades mexicanas tenían bajo o muy bajo acceso a carretera pavimentada, afectando a 6,2 millones de habitantes (4,9 % de la población). Por su parte, los centros de servicios, para este mismo año, concentraban cerca de 80,3 millones de personas, pese a esto, el 60,9 % de las localidades del país se encontraban a más de dos horas de distancia de ellos, donde pueden o no contar con transporte público (CONEVAL, 2021).

5.2. Objetivo

El presente estudio tiene como objetivo mostrar un indicador que refleje el acceso físico y económico a los alimentos que tienen las familias en los municipios de México. Para ello se proponen variables con información pública y su integración para alcanzar el índice. La hipótesis planteada es que la inseguridad alimentaria en México tiene sus raíces en factores económicos e infraestructurales. Se sostiene que las limitaciones en el acceso a alimentos nutritivos están vinculadas a ingresos familiares, oportunidades laborales y la disponibilidad de servicios de infraestructura. La intersección de estas condiciones contribuye a la vulnerabilidad alimentaria. Validar esta hipótesis puede orientar estrategias integrales para mejorar la seguridad alimentaria en el país. Con los resultados se espera contribuir a las políticas públicas que busquen solventar el problema de la seguridad y soberanía alimentaria en el país.

5.3. Método

Se construyó el indicador de acceso físico y económico a los alimentos a nivel municipal (2471 municipios) con los datos de ocho variables partiendo de Cruz-Sánchez *et al.* (2022) y considerando las definiciones de FAO para el pilar de acceso.

El *acceso a los alimentos* se refiere a la capacidad para obtenerlos y se basa mayormente en dos pilares, la capacidad económica y física (FAO *et al.*, 2013). El acceso económico depende del acceso a la renta disponible, los precios de los alimentos y el apoyo social. Mientras que el acceso físico está en función de la disponibilidad y calidad de la infraestructura, especialmente puertos, carreteras, líneas ferroviarias, instalaciones de transporte, intercambio y almacenamiento de alimentos y otros artículos (FAO, 2011b).

Así, la disponibilidad de alimentos está vinculada a los precios del mercado y al poder adquisitivo de las personas. Esto se conecta con oportunidades de trabajo y formas de sobrevivencia. Los aspectos clave incluyen: acceso a espacios de intercambio, infraestructura de transporte, estrategias de abastecimiento como comercio electrónico, niveles de precios en comparación con otros lugares de venta, y factores que afectan los precios, como intermediarios y costos de producción. Estos elementos definen cómo las personas acceden a los alimentos que necesitan (CONEVAL, 2010).

Las variables empleadas para medir el acceso físico y económico de los alimentos fueron agrupadas en tres subindicadores: acceso físico, acceso económico y acceso económico estatal (Cuadro 11).

Cuadro 11. Subindicadores, variables y fuentes de información para medir el acceso

Variable	Unidad	Fuente
<i>Acceso físico</i>		
1. Densidad de carreteras y caminos de los municipios	Longitud km/Superficie km ²	Red Nacional de Caminos (RNC) 2021. INEGI

Variable	Unidad	Fuente
2. Localidades que concentran y distribuyen alimentos dentro del municipio (localidades con más de 15 mil habitantes)	%	Censo de Población y Vivienda 2020. INEGI/Marco geoestadístico integrado, 2023. INEGI
3. Acceso a puntos de venta en el municipio (tiendas, mercados, centrales de abasto y tianguis)	%	Cruz-Sánchez et al. (2024)
<i>Acceso económico</i>		
4. Población con capacidad de acceso a canasta básica (superior LBE*) en el municipio	%	Medición de la pobreza, Estados Unidos Mexicanos, 2010-2020.CONEVAL, 2020
5. Población ocupada en el municipio	%	INEGI,2015
6. Población con más de dos salarios mínimos en el municipio	%	INEGI,2016
7. Población sin carencia a la alimentación en el municipio	%	Medición de la pobreza, Estados Unidos Mexicanos, 2010-2020.CONEVAL 2020
<i>Acceso económico estatal</i>		
8. Estabilidad del índice de precios al consumidor	%	INEGI,2010 y 2022

*LBE=línea de bienestar económico

Fuente: elaboración propia.

El *acceso físico* se determinó a través de tres variables: 1) En los que respecta a la densidad de carreteras y caminos presentes en los municipios, se determinó mediante el cociente del total de carreteras y caminos en kilómetros del municipio entre la superficie total municipal en kilómetros cuadrados. Sin embargo, en caso de aquellos municipios que son netamente urbanos, como algunas alcaldías de la Ciudad de México, Guadalajara y algunos municipios del estado de Nuevo León, fueron consideradas las avenidas, ejes viales, circuitos, viaductos y periféricos ya que no cuentan con carreteras o caminos. 2) Para las localidades que concentran y distribuyen alimentos se tomaron, del total de localidades del municipio, aquellas que tienen más de 15 mil habitantes y se obtuvo el porcentaje que representan dentro del total. 3) En el acceso a puntos de ventas se consideraron todos aquellos comercios que venden alimentos y se obtuvo el porcentaje de cobertura poblacional.

El *acceso económico* se evaluó a partir de: 1) población que cuenta con los recursos para comprar la canasta básica alimentaria y no alimentaria (considerando la Línea de Bienestar Económico o LBE); 2) población con empleos formales; 3) población que gana más de dos salarios mínimos; 4) población identificada sin carencia a la alimentación;

Finalmente, *el acceso económico estatal* que fue analizado mediante: 1) la estabilidad del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), el cual no se encuentra a nivel municipal. Para esto se tomó el índice del año 2010 y del 2020 y se obtuvo la tasa de cambio en porcentaje.

Las variables fueron ponderadas según su aporte al indicador de acceso (Cuadro 12): las mejores con valor más alto y las menos favorables con valor de uno. A través de la suma algebraica se obtuvo un valor para cada subindicador por municipio, representando al acceso físico y al acceso económico. Finalmente, un indicador de acceso se obtuvo sumando a los dos anteriores.

Cuadro 12. Valores y clases del indicador de acceso a los alimentos y sus subindicadores

	Rango	Valor	Descripción
Subindicador de acceso físico	(3-5)	1	Acceso físico bajo
	(6-8)	2	Acceso físico medio
	(9-10)	3	Acceso físico alto
	(11-12)	4	Acceso físico muy alto
Subindicador de acceso económico	(4-7)	1	Acceso económico bajo
	(8-10)	2	Acceso económico medio
	(11-13)	3	Acceso económico alto
	(14-16)	4	Acceso económico muy alto
Subindicador de acceso económico estatal*	(0-20)	1	Acceso económico bajo
	(20,001-40)	2	Acceso económico medio
	(40,001-60)	3	Acceso económico alto
	(60,001-100)	4	Acceso económico muy alto
Indicador de acceso físico y económico a los alimentos	(4-5)	1	Acceso bajo
	(6-7)	2	Acceso medio
	(8-9)	3	Acceso alto
	(10-11)	4	Acceso muy alto

*la categorización de este subindicador corresponde a los rangos de la variable usada para medirlo

Fuente: elaboración propia

La base de datos con los resultados se exportó a un Sistema de Información Geográfica (ArcMap 10.4.1, ESRI) para generar cartografía detallada y visualmente efectiva para mostrar la distribución del acceso físico y económico de los alimentos en los municipios de México.

También se obtuvo otra representación cartográfica de los patrones espaciales de los municipios de México, generados a través del Índice Global de Moran (univariado). Esta medida permitió evaluar la autocorrelación espacial y

determinar si existían patrones espaciales significativos en la distribución del acceso en los municipios de México. Para llevar a cabo el análisis espacial se usó el software GeoDa (Anselin, Syabri y Kho, 2020). Se construyó una matriz de vecindad (w) para establecer las relaciones de vecindad entre los municipios. Esta matriz permite identificar qué municipios se consideran vecinos entre sí. Los valores oscilan entre -1 y 1, donde un valor cercano a 1 indica una autocorrelación espacial positiva, un valor cercano a -1 indica una autocorrelación espacial negativa y un valor cercano a 0 indica la ausencia de autocorrelación espacial.

5.4. Discusión de resultados

Los resultados de las variables y los subindicadores se muestran en el Cuadro 13 y la Figura 11. A continuación, se presentan primero los resultados para subindicadores y después sobre el índice de acceso integrado.

Acceso físico a los alimentos. Los resultados muestran que en el país el 34,4 % de los municipios (850) observan bajo acceso a los alimentos. De medio a muy alto acceso físico se ubica el restante 65,6 % (1621 municipios). El acceso físico a los alimentos en la categoría de medio a bajo se explica porque los municipios presentan baja densidad de carreteras (en promedio de 0,7 km/km²), hay pocas localidades de más de 15 mil habitantes (consideradas como centro de concentración y distribución de alimentos) y el acceso a puntos de ventas de alimentos está muy cercano a cubrir el total de la población. Esto último significa que los puntos de venta de alimentos pueden cubrir la demanda poblacional.

Por su parte el acceso físico a alimentos en la categoría de “muy alto” (12 municipios) cuentan con una densidad de carreteras promedio de 2,7 km/km² y son municipios que sus localidades son consideradas como puntos de concentración y distribución de alimentos, por lo tanto, sus puntos de venta de alimentos logran cubrir la totalidad de la demanda de su población.

Los municipios con acceso físico bajo se distribuyen tanto en el norte del país como en el sur. Lo anterior muestra que las condiciones de acceso físico no

dependen de la ubicación geográfica, si no que puede estar mayormente relacionada con la condición urbana o rural de los municipios. Debido a la falta de infraestructura y servicios de las zonas rurales, presentan mayores niveles de inseguridad alimentaria, caso contrario de las zonas urbanas con mayor acceso a comercios (Torres y Rojas, 2020; Cuatlayo Meza *et al.*, 2022). Mientras que la mayoría de los municipios con acceso alto y muy alto están ubicados en el centro de México. INEGI reporta que la Ciudad de México, el estado de México, Jalisco y Nuevo León, poseen la mayor participación en el comercio a nivel nacional (INEGI, 2023).

La densidad carretera en la medición del acceso físico es un factor crucial. Los resultados presentados, dan cifras de densidad carretera de 0,05 a 0,29 km/km² para aquellos municipios con acceso físico más bajo, muy por debajo de la media nacional (0,7 km/km²). En su lugar, densidades carreteras desde 1,1 hasta 4,3 km/km², se obtuvieron para jurisdicciones con alto acceso físico, datos que son muy similares a los presentados en el sitio CEDRUS (2017) de la UNAM.

En términos generales, el acceso físico medio-bajo está representado por 93 % de los municipios en México (Cuadro 13). Por lo tanto, es importante considerar que en México se cuenta con 4909 localidades urbanas y 291731 localidades rurales (INEGI, 2023). Esto representa un reto importante para México, considerando las cifras y problemas expuestos anteriormente, en términos de carencias para el sector rural y que lleven a erradicar el problema de acceso físico a los alimentos.

Cuadro 13. Categorías de cada subindicador y sus variables, por municipio y a nivel nacional

Acceso físico a alimentos			Variables del subindicador de acceso físico (Af)		
Clase	Municipios	%	Densidad de carreteras	Centros de concentración y distribución	Puntos de venta
Bajo	850	34,4	Medio	Bajo	Bajo
Medio	1458	59,0	Medio	Bajo	Medio
Alto	151	6,1	Muy alto	Bajo	Muy alto
Muy alto	12	0,5	Alto	Muy alto	Muy alto
Nacional			Alto	Bajo	Alto

Acceso físico a alimentos			Variables del subindicador de acceso físico (Af)			
Acceso económico a alimentos			Variables del subindicador de acceso económico (AE)			
Clase	Municipio	%	Acceso a canasta básica	Población ocupada	Salario mínimo	Sin carencia a la alimentación
Bajo	227	9,2	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Medio	1004	4,6	Medio	Bajo	Bajo	Alto
Alto	1214	49,1	Alto	Medio	Medio	Alto
Muy alto	26	1,1	Muy alto	Medio	Alto	Muy alto
Nacional			Alto	Medio	Medio	Muy Alto
Acceso económico estatal a alimentos			Variables del subindicador de acceso económico estatal (AEE)			
Clase	Estado	%	Estabilidad del INPC			
Bajo	0	0,0	Bajo			
Medio	25	91,6	Medio			
Alto	7	8,4	Alto			
Muy alto	0	0,0	Muy alto			
Nacional			Medio			

Fuente: Elaboración propia

Acceso económico a los alimentos: La distribución de los municipios en este aspecto revela que aproximadamente 9 % de ellos (277) enfrenta condiciones económicas desfavorables (clase baja). En esta categoría, solo 9 % de la población de los municipios percibe ingresos superiores a dos salarios mínimos, 18,8 % tiene empleo y 28,9 % cuenta con acceso a la canasta básica. El acceso medio y alto, abarca 40,6 % (1004) y 49,1 % (1214) de los municipios del país respectivamente. En cuanto a la clase media, las cifras indican que aproximadamente 28 % de la población en los municipios está empleada. Además, alrededor del 20% percibe ingresos superiores a dos salarios mínimos. Notablemente, más de la mitad de la población (57 %) tiene acceso a la canasta básica y más del 70 % no experimenta carencias alimentarias. Mientras que las condiciones de la población para los municipios en la clase alta mejoran notablemente, principalmente en el porcentaje de población con acceso a la canasta básica (81,5 %) y el porcentaje de población que percibe ingresos superiores a dos salarios mínimos (45,4 %).

El restante 1 % de los municipios (26) se presentan con las mejores condiciones económicas (clase muy alta), los cuales muestran mejoras significativas en comparación con el resto de las categorías. Destacan, en particular, el elevado

porcentaje de personas con acceso a la canasta básica, alcanzando el 93,3 %, así como el considerable 74,8 % de la población que percibe ingresos superiores a dos salarios mínimos. De acuerdo con la base de datos del Banco Mundial (2023), la desigualdad en la distribución de los ingresos en el país (Coeficiente de Gini), ha disminuido en los últimos años. A partir del 2016 con un valor del Coeficiente de Gini de 47,7 disminuyó hasta 45,4 para el 2020.

Los resultados que aquí se plantean, y a diferencia del acceso físico, las variaciones económicas del país si presentan una clara diferencia entre el norte y sur del país, las mejores y peores condiciones respectivamente. Casos similares se han encontrado en otros estudios, donde se han identificado diferencias significativas en la seguridad alimentaria entre hogares rurales y urbanos, así como entre las distintas regiones geográficas de México (Mundo-Rosas et al., 2019). La pobreza es más prevalente en zonas rurales que en zonas urbanas, con un 61,1 % de la población rural viviendo en situación de pobreza, en comparación con el 42,6 % de la población urbana (Soloaga et al., 2022).

A pesar de que a nivel nacional 66 % de la población puede acceder a la canasta básica, las condiciones bajas de salarios y poca ocupación en los municipios, de la región sur principalmente, reduce la calidad de vida de los habitantes en los municipios. Es importante mencionar que el costo de la canasta básica de alimentos en México varía en diferentes regiones del país. El CONEVAL hace un registro del avance de la canasta básica alimentaria, donde se observa una evolución creciente desde el año 2015 hasta el 2023. Desde 1265 pesos para el año inicial hasta 2144 pesos para el caso de la canasta básica urbana, mientras que la rural aumento de 897 pesos hasta 1644 pesos (CONEVAL, 2023). De acuerdo con PROFECO (2023), en cuanto al precio de la canasta básica en julio de 2023, la región sur presentó el costo más elevado, mientras que en la región centro-norte se registraron los precios más accesibles.

Según la Comisión Nacional de Salarios Mínimos, el salario mínimo diario en 2020 era de 123,22 pesos mexicanos, lo que equivale aproximadamente a 5,96 dólares estadounidenses al tipo de cambio de ese año. Este rubro también varía

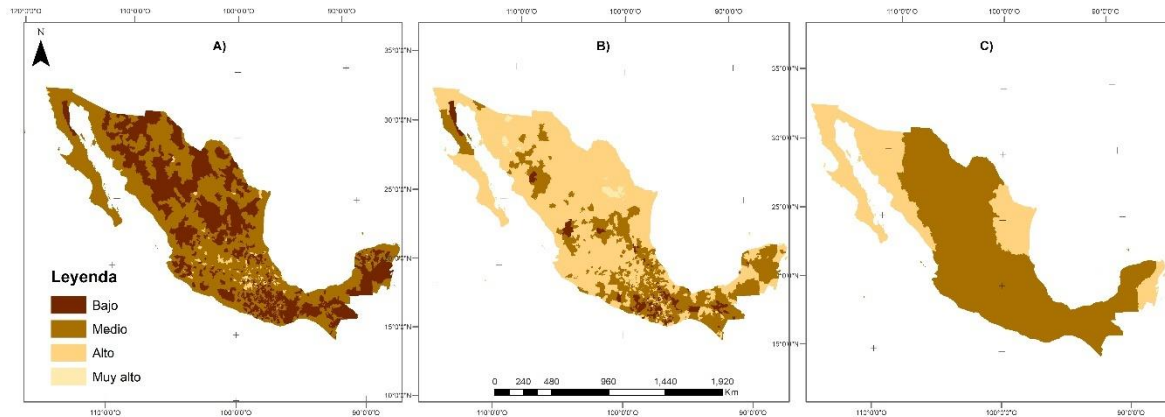
de acuerdo con la zona del país. Conforme a la tabla de salarios mínimos que rigen en el país a partir del primero de enero de 2023, la Zona Libre de la Frontera Norte tiene un monto vigente de 312,41 pesos, mientras que en el resto del país es de 207,44 pesos (CANASAMI, 2023).

Lo anterior ha obligado a la población a destinar gran parte de su salario a la compra de los alimentos, reduciendo el presupuesto para otros servicios básicos. De acuerdo con INEGI (2022), la mayor parte del gasto corriente monetario promedio trimestral por hogar es destinado a la compra de alimentos, bebidas y tabaco en primer lugar, seguido del transporte y comunicaciones, descuidando en gran medida, rubros importantes como los cuidados de la salud. En hogares de bajos ingresos, el porcentaje del gasto destinado a la compra de alimentos es mayor y se caracterizan por ser hogares con mayores rezagos en servicios básicos (Mundo-Rosas et al., 2019).

Acceso económico estatal a los alimentos: A nivel estatal, el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) muestra una mediana estabilidad en 25 estados de la República Mexicana. Durante el periodo comprendido entre 2010 y 2022, la variación de los precios de bienes y servicios contemplados en este índice fue de alrededor de 50 unidades, lo que se traduce en una tasa de cambio del 68,7 %. En contraste, los restantes 7 estados se caracterizan por mejorar la estabilidad en el INPC, presentando una variación de aproximadamente 43,6 unidades, equivalente a una tasa de cambio del 56,9 %.

Así pues, el acceso económico a los alimentos en México supone un reto importante a mejorar, ya que como se muestra en los resultados, varía en gran medida conforme a la zona del país.

Figura 11. El acceso a los alimentos de los municipios en México por subindicador



A) Subindicador de acceso físico; B) Subindicador de acceso económico; C) Subindicador de acceso económico estatal.

Fuente: elaboración propia.

Acceso físico y económico a los alimentos: El acceso físico y económico a los alimentos en los municipios de México se muestra en las Figura 12 y Figura 13.

El indicador revela que 25,4 % de los municipios (628) en el país se ubican en la categoría de clase baja en términos de condiciones físicas y económicas. Esta clasificación se asocia principalmente con deficiencias más notorias en el acceso físico que en el tema económico. Ejemplo de ello es la infraestructura de centros de concentración y distribución de alimentos, los cuales resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de la población. Asimismo, los puntos de venta locales presentan limitaciones en cuanto a la disponibilidad de alimentos. Estas condiciones se vinculan estrechamente con una baja tasa de ocupación laboral y porcentajes reducidos de la población que percibe ingresos superiores a dos salarios mínimos.

Destacan especialmente los municipios pertenecientes a los estados de Oaxaca y Chiapas en esta categoría, lo que coincide con los resultados encontrados por Aguilar-Estrada *et al.* (2019) y Torres Torres & Martínez Rojas (2022), quienes ubican a la zona sur del país, especialmente a Oaxaca, Chiapas y Guerrero, con

mayores problemas de inseguridad alimentaria, argumentando que son los estados con mayores índices de pobreza extrema.

En contraste, se observan casos opuestos como San Nicolás de los Garza, General Escobedo y Apodaca en Nuevo León, Ciudad Madero en Tamaulipas y tres delegaciones de la Ciudad de México (Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez), que ostentan las mejores condiciones en términos de acceso físico y económico (Figura 13).

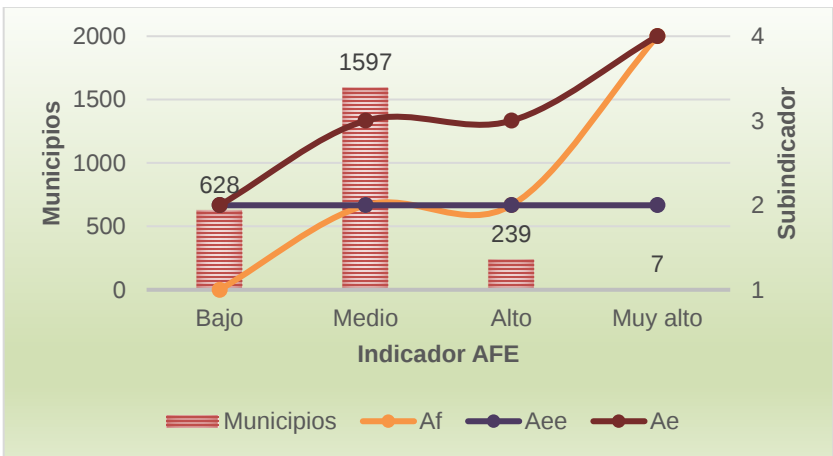
La mayoría de los municipios (1597), equivalentes al 64 %, se sitúan en la categoría de clase media en términos de acceso físico y económico. En este estrato, se observan municipios con una infraestructura vial insuficiente, generando complicaciones en el suministro y distribución de alimentos, que a su vez afecta a los puntos de venta locales de dichos municipios.

El acceso a los alimentos ha sido la dimensión con más iniciativas propuestas, esto para el año 2020. Los programas de apoyos se enfocaron en la recolección y donación de alimentos, sin embargo, fueron orientados en gran medida a zonas urbanas (Nadal & Nazar-Beutelspacher, 2023). Esta situación resultó en un descuido a la parte económica desfavorecida de las zonas rurales, especialmente. Por lo tanto, no necesariamente se sigue una trayectoria lineal entre el consumo y acceso, como lo menciona (Martínez-Martínez et al., 2023), sino que es indispensable considerar el grado de marginación de los habitantes como determinante para lograr un buen acceso a los alimentos.

En otras categorías, el 9,7 % de los municipios presenta un acceso físico y económico considerado alto, mientras que únicamente el 0,3 % se clasifica como muy alto en este aspecto. Estas categorías muestran mejoras notables en las condiciones económicas, aunque persisten desafíos en la infraestructura de la clase alta, especialmente en relación con los centros de concentración y distribución de alimentos, así como en la baja tasa de población ocupada. Por otro lado, la clase muy alta se distingue por contar con condiciones de infraestructura favorables, como una densidad de carreteras adecuada y la

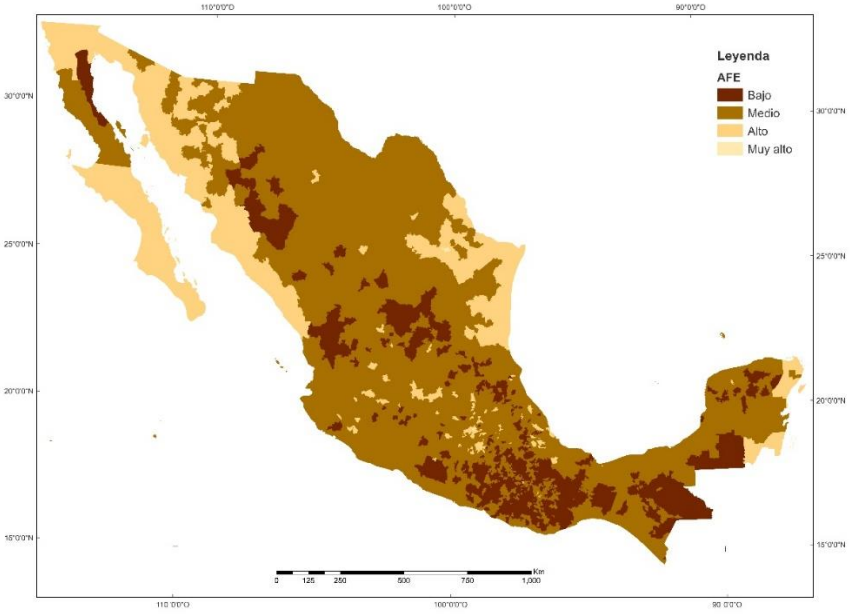
presencia de centros de concentración y distribución. Estos elementos, vinculados con los puntos de venta locales, tienen el potencial de satisfacer la demanda de alimentos de manera efectiva para su población.

Figura 12. Indicador de acceso físico y económico y su relación con los subindicadores



Subindicador: 1=bajo, 2=medio, 3=alto y 4=muy alto
 Af: acceso físico; Aee: acceso económico estatal; Ae: acceso económico
 Fuente: elaboración propia

Figura 13. Indicador de acceso físico y económico a los alimentos en México



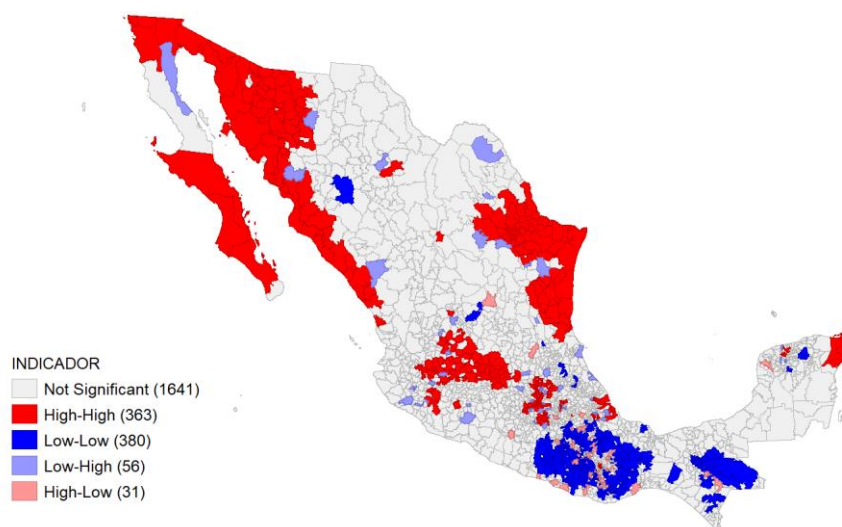
Fuente: elaboración propia

Índice de Moran Local Univariado: Otra alternativa de agrupar municipios de acuerdo con sus características es a través de este índice. Los resultados muestran un valor de 0,57 lo que indica una autocorrelación espacial positiva moderada. Esto sugiere que existe una coherencia espacial en la forma en que se distribuye el acceso físico y económico a los alimentos entre los municipios. Una manera más acertada en que los tomadores de decisiones y generadores de políticas públicas pueden acercarse a resolver estas desigualdades tanto económicas como físicas, en términos de seguridad alimentaria, es con la ayuda de conglomerados que unifican los municipios en grupos similares, que permiten obtener respuestas favorables a la hora de resolver problemas.

Una forma de facilitar este objetivo es considerando los resultados de este índice, donde se genera un mapa visualmente entendible (Figura 14). Se presentan claramente conglomerados de municipios con las condiciones más deficientes de acceso físico y económico a los alimentos. Su complicación se debe a que no solo un municipio en particular tiene estas deficiencias, sino que también los municipios vecinos comparten el mismo problema.

Los municipios con acceso alto tienden a agruparse con municipios con características similares. Es el caso de diferentes zonas del país como lo son los conglomerados formados en la península de Baja California, Sonora y Sinaloa; Nuevo León y parte de Coahuila; algunos municipios del centro del país; y en la península de Yucatán (clúster rojo). Mientras que en la parte sur de Chiapas y casi en todo el estado de Guerrero se agrupan aquellos municipios con bajo acceso (clúster azul; Figura 14).

Figura 14. Agrupación de los municipios mexicanos obtenido del Índice global de Moran



Fuente: elaboración propia

5.5. Conclusiones

El análisis presentado da una orientación más clara y evidente de que el problema de la inseguridad alimentaria mexicana, gira en torno del acceso tanto físico como económico a los alimentos. Sin embargo, este sigue siendo un desafío importante. A pesar de la producción agrícola del país y la presencia de cadenas de supermercados, las desigualdades geográficas y económicas restringen el acceso a alimentos para una parte significativa de la población. Las condiciones precarias recaen en diferentes zonas del país, sin embargo, se acentúan en la parte sur, principalmente en los estados de Guerrero y Chiapas.

Es un desafío multidimensional que involucra factores geográficos, económicos y de infraestructura. Como se presentó, las condiciones de la zona norte del país son diferentes en gran medida a las condiciones de la parte centro y sur. La desigual distribución de infraestructura vial, el salario y el empleo son cuestiones diferenciadoras en estas zonas. Estas condiciones deben abordarse de manera integral para garantizar un acceso igualitario y efectivo a los alimentos en todo el país.

El análisis espacial presentado revela una oportunidad para promover una nueva visión integrada de la agenda pública, para una transformación del sistema alimentario. Esta nueva narrativa integradora sobre los sistemas alimentarios, presenta una oportunidad para cambiar la seguridad alimentaria existente.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma Chapingo en México. Agradecemos al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), a la DGIP, al Departamento de Fitotecnia, así como al Programa de Doctorado en Agricultura Multifuncional. Agradecemos los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos, cuyos comentarios han mejorado sustancialmente el trabajo.

5.6. Literatura citada

- Aguilar-Estrada, A. E., Caamal-Cauich, I., Barrios-Puente, G., & Ortiz-Rosales, M.A. (2019). ¿Hambre En México? Una Alternativa Metodológica Para Medir Seguridad Alimentaria. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53). 1-26. <https://doi.org/10.24836/es.v29i53.625>.
- Anselin, L., Syabri, I., & Kho, Y. (2006). GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38, 5–22. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>.
- BANCO MUNDIAL. (2023). Índice de Gini. Índice de Gini - Mexico. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI?locations=MX>.
- Bradbear, C. & Friel, S. (2013). Integrating Climate Change, Food Prices and Population Health. *Food Policy*, 43.56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.08.007>.
- Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (CANASAMI). (s.f.). *Salarios Mínimos 2023*. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Recuperado el 25 de marzo de 2023 de <https://www.gob.mx/conasami>.
- Casas Patiño, D., Rodríguez Torres A. & Jarillo Soto E. C.. (2016). The Feeding-Nutrition Connection, Three Aspects for Its Understanding. *Medwave*, 16(3):e6424. <http://doi.org/10.5867/medwave.2016.03.6424>.
- Centro de Estudios de Desarrollo Regional y Urbano Sustentable (CEDRUS). (s.f.). *Densidad de Carreteras y Redes Viales en Los Municipios de México*. UNAM. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://cedrus-unam.blogspot.com/2019/05/densidad-de-carreteras-y-redes-viales.html>.

- Chias Becerril, L., Iturbe Posadas, A. & Reyna Sáenz, F. (2001). Accesibilidad de las Localidades del Estado de México a La Red Carretera Pavimentada: Un Enfoque Metodológico. *Investigaciones Geográficas* 1, (46). 117-130. <https://doi.org/10.14350/rig.59159>.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (s.f.). *Dimensiones de La Seguridad Alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto*. Recuperado el 02 de septiembre de 2023 de <https://sistemas.coneval.org.mx/DATAMUN/grupos?e=01&m=01001>.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (s.f.). *Grado de Accesibilidad a Carretera Pavimentada (GACP) 2020*. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Grado_accesibilidad_carretera.aspx.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (s.f.). *Evolución de las líneas de pobreza por ingresos*. Recuperado de <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>.
- Cruz-Sánchez, Y., Aguilar-Estrada, A.E., Baca-Del Moral, J. & Monterroso-Rivas, A.I. (2024). The Availability of Food in Mexico: An Approach to Measuring Food Security. *Agriculture & Food Security*. In Review
- Cuatlayo Meza, E., Luna Lopez, P., Enriquez-Martinez, O.G., Villaseñor Lopez, K., De Abreu Quintela Castro, F.C. & Silva Pereira, T.S. (2022). Seguridad Alimentaria y Nutricional en México durante la pandemia por SARS-CoV-2: Revisión Sistemática. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 26(4):255–67. <https://doi.org/10.14306/renhyd.26.4.1699>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2008). An Introduction to the Basic Concepts of Food Security. Food Security Information for Action. Practical Guides. 3. Recibido de <https://www.fao.org/3/al936e/al936e.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011a). Food Safety: Information for Decision Making. <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2023). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. *Urbanización, transformación de los sistemas agroalimentarios y dietas saludables a lo largo del continuo rural-urbano*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3017es>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización Mundial de la Salud (OMS) y Programa Mundial de Alimentos (PMA). (2013). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. (2013). *Las múltiples dimensiones de la*

seguridad alimentaria. Roma, FAO. Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/i3434s/i3434s00.pdf.

González-Catalán, M. & Rodríguez-Orozco, A.R. (2022). Seguridad Alimentaria: Pilares y Evaluación. *Ibn Sina –Revista Electrónica Semestral En Ciencias de La Salud*, 13(2). 1–12. Recuperado de <http://revistas.uaz.edu.mx/index.php/ibnsina>.

Gordillo, G. & Méndez Jerónimo, O. (2013). Seguridad y Soberanía Alimentaria (Documento base para la discusión). FAO. Recuperado de www.fao.org/publications.

High Level Panel of Experts (HLPE). (2020). Impacts of COVID-19 on Food Security and Nutrition: Developing Effective Policy Responses to Address the Hunger and Malnutrition Pandemic. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1000en>.

Instituto Nacional de Estadística & Geografía (INEGI). (s.f.). *Comercio*. Economía. Cuentame de INEGI. Recuperado el 10 de octubre de 2023 de <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/terciario/comercio/default.aspx?tema=e>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.). *Marco Geoestadístico*. Geografía y Medio Ambiente. Recuperado el 15 de septiembre de 2023 de <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Demografía y Sociedad*. Ingresos y Gastos de Los Hogares. Recuperado el 20 de octubre de 2023 de <https://www.inegi.org.mx/temas/ingresoshog/>.

Martínez-Martínez, O. A., Gil-Vasquez, K. & Romero-González, M.B. (2023). Food Insecurity and Levels of Marginalization: Food Accessibility, Consumption and Concern in Mexico. *International Journal for Equity in Health*, 22(1):1–13. <https://doi.org/10.1186/s12939-023-01977-5>.

Mundo-Rosas, V., Unar-Munguía, M., Hernández-F, M., Pérez-Escamilla, R. & Shamah-Levy, T. (2019). La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México: una mirada desde el acceso, la disponibilidad y el consumo. *Salud Pública de México*, 61(6):866–875. <https://doi.org/10.21149/10579>.

Nadal, A., & Nazar-Beutelspacher, D.A. (2023). COVID-19: Solidarity Initiatives for Food Security in the Mayan Indigenous Region of South-Southeast Mexico. *Global Food Security*, 37:100697. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100697>.

Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). (2011). Seguridad Alimentaria Nutricional, Conceptos Básicos. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria - PESA – Centroamérica. *Proyecto Food Facility Honduras*. Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/at772s/at772s.pdf.

- Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO). (s.f.). Histórico de Presentaciones. *Quién es quién en los precios*. Recuperado el 25 de octubre de 2023 de <https://www.profeco.gob.mx/precios/canasta/qqpc.php>.
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Flores-De la Vega, M.M. & Luiselli-Fernández, C. (2017). Food Security Governance in Mexico: How Can It Be Improved?. *Global Food Security*, 14:73–78. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.05.004>.
- Soloaga, I., Plassot, T. & Reyes, M. (2022). Lo rural y lo urbano en México: una nueva caracterización a partir de estadísticas nacionales. *Documentos de Proyectos (LC/TS.2022/48; LC/MEX/TS.2022/6)*. Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado de www.cepal.org/es/publications.
- Torres, F., & Rojas Martínez, A. (2020). Seguridad alimentaria y sus desequilibrios regionales en México. *Problemas del Desarrollo*, 51(201):57–83. <https://doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2020.201.69521>.
- Torres Torres, F. & Martínez Rojas, A. (2022). Food security at the crossroads of regional inequalities in Mexico. *Investigaciones Regionales*, (53):91–115. <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.22.012>.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO: UNA EVALUACIÓN TENDENCIAL A NIVEL MUNICIPAL

Resumen

El presente estudio aborda la estabilidad alimentaria a nivel municipal en México, utilizando un enfoque integrador respaldado por las directrices de la FAO. La metodología incorpora variables clave propuestas a partir de análisis anteriores sobre la disponibilidad y acceso a los alimentos, así como una revisión de literatura. Se emplearon 15 variables divididas en tres subindicadores: estabilidad ambiental, estabilidad en los sistemas de producción y estabilidad económica y de precios. El análisis se basó en la tendencia temporal (2000-2021), utilizando la regresión lineal simple para evaluar la estabilidad de cada variable. La asignación de categorías permitió la clasificación de la estabilidad en “aumento”, “estable” y “disminución”. Los resultados desglosados por subindicador revelaron preocupantes tendencias en la estabilidad ambiental, con un aumento en la intensidad de sequías y temperatura. La estabilidad en los sistemas de producción muestra disminuciones en municipios que experimentan pérdida de diversidad de cultivos y productos derivados de la actividad pecuaria y pesquera. En cuanto a la estabilidad económica y de precios, un pequeño porcentaje de municipios experimentó disminuciones significativas, mientras que la mayoría se mantiene estable o mejora en términos de acceso económico a los alimentos. El indicador general de estabilidad alimentaria reflejó que el 28 % de los municipios experimentaron una disminución en la estabilidad alimentaria, principalmente debido a desgastes en los sistemas de producción. El estudio proporciona una evaluación integral de la estabilidad alimentaria en México, identificando áreas de preocupación y oportunidades para intervenciones políticas.

Palabras clave: tendencias; variabilidad climática; producción de alimentos; sostenibilidad alimentaria, acceso económico.

Abstract

Keys words: trends; climatic variations; food production; sustainable food; economic access.

6.1. Introducción

Desde la década de 1990, el concepto de seguridad alimentaria ha evolucionado significativamente. Ha pasado de enfocarse únicamente en la disponibilidad de alimentos a abarcar dimensiones más complejas (FAO, 2018). El concepto actual incluye elementos como el equilibrio nutricional y las preferencias alimentarias, sociales y culturales (Williams et al., 2014). Esto implica una comprensión más compleja de la seguridad alimentaria, que ahora también abarca factores socioeconómicos, ciclos ambientales y fluctuaciones de precio. Este cambio de paradigma ha llevado a la incorporación de conceptos adicionales, como la estabilidad, referido a la disponibilidad constante y al acceso continuo a los alimentos (Ramírez et al., 2020). FAO (1996) definió el concepto de seguridad alimentaria como: *"cuando todas las personas tienen en todo momento acceso a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y saludable"*. Esta definición muestra los siguientes cuatro pilares primordiales: 1) disponibilidad de alimentos, 2) acceso físico y económico a los alimentos, 3) utilización de los alimentos, y 4) estabilidad de los pilares anteriores.

La estabilidad alimentaria, como elemento esencial de la seguridad alimentaria, desempeña un papel crítico en la garantía a largo plazo del suministro, la adquisición y la utilización de alimentos (Su et al., 2023). Este componente fundamental de la seguridad alimentaria, señala que las personas deben contar con acceso constante a los alimentos, y para alcanzar esa estabilidad, es necesario garantizar la sostenibilidad económica, política y social de los sistemas alimentarios (Ribeiro et al., 2021). Se evalúa primordialmente a través de la estabilidad política y la ausencia de conflictos, así como la variabilidad en la producción de alimentos y el suministro de alimentos per cápita (Su et al., 2023). Este enfoque más amplio y holístico hacia la seguridad alimentaria es esencial para abordar los desafíos actuales y futuros.

Al considerar la evaluación de la estabilidad alimentaria, es crucial observar diversas perspectivas que ofrecen un enfoque holístico y adaptativo. El modelo propuesto por (Ribeiro et al., 2021) destaca cinco perspectivas principales: mejora genética, diversificación de la producción agrícola, intensificación sostenible de la producción agrícola, monitoreo climático y seguimiento del mercado. Cada una de estas perspectivas contribuye a construir un marco completo que aborda la interconexión de factores que afectan la estabilidad alimentaria en un entorno cambiante.

Sin embargo, a medida que se avanza hacia un futuro marcado por el crecimiento de la población mundial, cambios en el medio ambiente, transformaciones en el uso de la tierra, la degradación del suelo y rápidos procesos de urbanización, surgen desafíos considerables en la garantía de la estabilidad alimentaria (FAO, 2021). Se prevé que la demanda de alimentos aumente en un 300 % para el año 2080 a causa de una mayor población; es probable que este aumento cree un desequilibrio entre la oferta y la demanda de alimentos (Bandara & Cai, 2014).

Según Orduño Torres et al. (2020), esta situación se vuelve aún más compleja en las regiones de África y América Latina, donde la agricultura es particularmente vulnerable al cambio climático debido a su posicionamiento geográfico. En estas áreas, las economías y poblaciones locales dependen en gran medida de las actividades agrícolas para su subsistencia, especialmente en las zonas rurales y marginales. Por esta razón el cambio climático está estrechamente ligado con el desarrollo social. Estudios prevén impactos considerables en países como Asia, Australia, China, Tanzania, entre otros, que se verán seriamente afectados en el acceso físico y económico de los alimentos a raíz del aumento en los precios de los mismos, causado por el cambio climático (Bandara & Cai, 2014; Bradbear & Friel, 2013; Wang, 2010).

La situación actual en México refleja estos desafíos. La evaluación de la seguridad alimentaria en México se basa en el indicador de "carencia por acceso a la alimentación", desarrollado por CONEVAL mediante variables cualitativas que dependen de la percepción de los hogares, lo cual constituye un enfoque

inherentemente subjetivo (Aguilar-Estrada et al., 2019). Esto ha generado la aparición de diversas propuestas y alternativas que buscan evaluar la seguridad alimentaria de manera integral, situación que también se aplica a este cuarto pilar de la seguridad alimentaria.

Algunos estudios en México han empleado diversos indicadores para medir este pilar, con diferentes metodologías y a diferentes escalas. Indicadores como la proporción de dependencia de las importaciones de cereales, el porcentaje de tierras arables equipadas con sistemas de riego, el valor de las importaciones de alimentos en relación con el total de mercancías exportadas, la estabilidad política y la ausencia de violencia o terrorismo, la volatilidad de los precios nacionales de los alimentos, el número de interrupciones en las vías de acceso, entre otros (Cruz-Sánchez et al., 2022), han proporcionado un acercamiento a evaluar que tan estables son el suministro de los alimentos en el país.

Por su parte, FAO (2024), a través del FAOSTAT identifica seis elementos para analizar la estabilidad alimentaria: (1) la proporción de dependencia de las importaciones de cereales; (2) el porcentaje de tierras cultivables con sistemas de riego; (3) el valor de las importaciones de alimentos en comparación con las exportaciones totales de mercancías (%); (4) estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo; (5) variabilidad en la producción de alimentos per cápita; (6) variabilidad en la oferta per cápita. Sin embargo, para México, esta plataforma solo muestra resultados a nivel nacional para “Estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo (índice) y “Variabilidad del suministro de alimentos per cápita (kcal/hab/día)”. A pesar de la riqueza de datos proporcionados por el FAOSTAT a nivel nacional, es crucial reconocer la limitación en la disponibilidad de información y más aún detallada a diferentes escalas. Esta brecha destaca la necesidad de investigaciones más específicas que aborden la estabilidad alimentaria a escalas más locales, considerando las variaciones únicas presentes en diferentes regiones del país.

Con objetividad y buen manejo de las estadísticas nacionales, esta investigación presenta un panorama sintético sobre el estado que guarda la estabilidad

alimentaria mexicana. Basado en el enfoque holístico que se busca mostrar, se centra en destacar la importancia de las condiciones heterogéneas del país, que requieren un enfoque contextualizado que considere las particularidades de cada región. Las condiciones climáticas, variaciones en los sistemas de producción, los recursos disponibles y la infraestructura que impactan directamente en la estabilidad alimentaria a nivel local. Cuyo objetivo es analizar la estabilidad alimentaria a nivel municipal en México, bajo un enfoque integrador y basándose en las directrices de la FAO, se busca proporcionar ideas clave que contribuyan a políticas y estrategias más efectivas. Además, se incorpora un enfoque novedoso al considerar las tendencias del pasado hacia el futuro en la evaluación de la estabilidad alimentaria.

6.2. Materiales y métodos

El estudio utilizó el análisis de *la disponibilidad de los alimentos* que realizaron Cruz-Sánchez et al. (2024), así como el análisis del *acceso físico y económico a los alimentos propuesto por* Cruz-Sánchez et al., (2024), y la revisión de literatura hecha por Cruz-Sánchez et al., (2022). Esto, como base para proponer las variables empleadas para la presente medición de la *estabilidad de los alimentos*. Partiendo de dicha base se construyó la propuesta de las variables más integral y mejor adaptada, con el propósito de medir este componente a nivel municipal en México. Esta propuesta se alinea directamente con el objetivo establecido para la investigación. Se presenta en el Cuadro 14, las 15 variables que fueron utilizadas, mismas que se dividieron en tres subindicadores, propuestos con base a la naturaleza de las variables (ambiental, producción y economía). Siguiendo la metodología propuesta por CEPAL (2009), donde se sugiere agrupar las variables a estudiar, lo que permitió un mejor análisis de los resultados.

Después de definir las variables, se procedió a identificar las fuentes de información que contaran con datos disponibles durante períodos de al menos 10 años, para los 2471 municipios del país. Las variables que contaban con más de 10 años de datos disponibles se consideraron a partir del año 2000, con excepción de la temperatura y precipitación, para las cuales se emplearon 30

años de datos, siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (2024). Además para estas dos variables, se obtuvieron los datos puntuales para cada municipio de acuerdo con su periodo de crecimiento, considerando la clasificación por zonas indicadas por Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz (2021).

Cuadro 14. Subindicadores, variables asociadas, unidades de medida, periodos y fuentes utilizadas para la medición de la estabilidad alimentaria en México.

Subindicador	Variables	Unidad	Periodo	Fuente
Estabilidad ambiental	Ausencia de Sequía	Intensidad*	2000-2020	(San Agustín-Canales et al., 2023)
	Ausencia de desastres (Inundaciones, granizadas, Heladas, ondas de calor, deslizamientos, derrumbes)	Número	2000-2023	Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED)
	Cambios en la precipitación	Milímetros	1990-2021	WordClim
	Sin aumento de temperatura	°C	1990-2021	WordClim
	Cambios en la producción agrícola	Toneladas	2003-2021	Cierre agrícola municipal (SIAP)
Estabilidad en los sistemas de producción	Cambios en el número de cultivos agrícolas	Número	2003-2022	Cierre agrícola municipal (SIAP)
	Cambios en la producción pecuaria	Toneladas	2006-2021	Cierre pecuario municipal (SIAP)
	Cambios en el número de productos pecuarios	Número	2006-2022	Cierre pecuario municipal (SIAP)
	Cambios en la producción pesquera	Kilogramos	2006-2021	Producción pesquera (CONAPESCA)
	Cambios en el número de productos pesqueros	Número	2006-2022	Producción pesquera (CONAPESCA)
	Cambios en el número de ciclos de producción	Número	2003-2021	Cierre agrícola municipal (SIAP)
	Diferencias en el almacenaje y acopio de alimentos "permanentes" (centrales de abasto y tiendas de autoservicio)	Porcentaje (CA) Número (TA)	2010-2020	Cobertura de servicios públicos (CONEVAL) y DENUE (INEGI)

Estabilidad económica y de precios	Cambio en la tierra de riego	Porcentaje	2000,2015, 2020	Uso de suelo y vegetación (INEGI)
	Cambios en el acceso a la canasta básica por la población	Porcentaje	2000,2005, 2010,2020	Concentrado de indicadores de pobreza (CONEVAL)
	Cambios en la población económicamente activa	Porcentaje	2000,2010, 2020	Censo de población y vivienda (INEGI)

*La intensidad de la sequía se presenta de la siguiente forma: 1: Sin sequía; 2: Sequía ligera; 3: Sequía moderada; 4: Sequía grave; 5: Sequía extrema

El enfoque dado a la medición de la estabilidad de los alimentos fue a través de la *tendencia*. La elección de la tendencia como enfoque central para medir la estabilidad de los alimentos, refleja la necesidad de capturar la dinámica temporal de las variables (del pasado al presente, columna “Periodo”, Cuadro 14). La tendencia, entendida como el elemento fundamental para examinar el comportamiento de una variable. Se encuentra intrínsecamente ligada al periodo de análisis, ya sea a corto, medio o largo plazo, y también está vinculada al tipo de movimiento, ya sea ascendente, descendente o lateral (Carvajal & Castro, 2010). Este análisis se vuelve esencial para discernir si existe un aumento sostenido, una estabilidad constante o una disminución gradual. Si bien no se han reportado estudios que midan la estabilidad de los alimentos utilizando esta metodología, si existen muchos otros que la han empleado para entender comportamientos de diversas variables de tipo climáticas. Mismas que presentan resultados confiables lo que lo vuelve aplicable en las variables utilizadas en este estudio (Cadilhac et al., 2017; Carvajal & Castro, 2010; Correa Ortiz et al., 2021; Espindula de Quadros et al., 2014; Gómez-Díaz et al., 2007; Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2021).

Por lo tanto, a través de una regresión lineal simple (Moral Peláez, 2006), se tomó el valor de la pendiente “*b*” como indicador de estabilidad de cada variable: pendiente positiva = “aumento de estabilidad”; pendiente negativa = “disminución de estabilidad”; cero = “estabilidad”.

$$y = a + bx + e$$

En la ecuación, a y b son los denominados coeficientes de regresión. El componente a representa el valor de “ y ” cuando “ x ” vale 0. Por su parte, b representa la pendiente (inclinación) de la recta de regresión. Este coeficiente nos dice el incremento de unidades de la variable “ y ” que se produce por cada incremento de una unidad de la variable “ x ”. Por último, el componente “ e ” representa la variabilidad aleatoria del modelo.

Para medir cada variable, se asignó un valor a cada categoría de la siguiente manera: "aumento de estabilidad" se representó con 5, "estabilidad" con 3, "disminución de estabilidad" con 1 y "NA (no aplica o no disponible)" con 2. "NA" que indica "carente de datos" o "sin variable disponible en el municipio".

Se presentaron rangos diferentes para cada subindicador, derivados de la suma aritmética de las variables que lo componen (Cuadro 14). Los resultados obtenidos fueron categorizados de igual forma que las variables (5 = "Aumenta", 3 = "Estable" y 1 = "Disminuye"). Estas categorías se determinaron teniendo en cuenta los rangos* específicos de cada subindicador, como se detalla en el Cuadro 15. Finalmente, para definir el indicador de estabilidad de los alimentos, se obtuvo mediante la suma de los subindicadores y se aplicó la misma clasificación.

Cuadro 15. Clasificación de los subindicadores e indicador de la estabilidad de los alimentos

Clasificación	Subindicadores			Indicador
	Estabilidad ambiental	Estabilidad en los sistemas de producción	Estabilidad económica y de precios	Estabilidad de los alimentos
	*rango (4-16)	*rango (10-31)	*rango (2-10)	*rango (3-15)
Aumenta (5)	> 12	> 24	> 7	> 11
Estable (3)	8.1 a 12	17.1 a 24	4.1 a 7	7.1 a 11
Disminuye (1)	<= 8	<= 17	<= 4	<= 7

Por su parte, la presentación de los resultados se realizó mediante gráficos realizados con ayuda del software RStudio (2022), presentando algunos

municipios de los que destacan en cada categoría del Indicador. Además, se realizó una representación cartográfica a nivel municipal de los resultados del indicador y los subindicadores utilizando el software ArcMap (Esri, 2018).

6.3. Resultados

A continuación, se exponen los resultados obtenidos respecto a las condiciones de los municipios en el país en los últimos años, evaluados en términos de estabilidad alimentaria. Estos resultados se desglosan por subindicador, permitiendo un análisis pormenorizado de la influencia de las variables utilizadas en su medición.

6.3.1. Estabilidad ambiental

Las fluctuaciones en temas ambientales muestran que 19.6 % de los municipios mexicanos (484), han experimentado una disminución en su estabilidad ambiental en las últimas décadas. En variables como la intensidad de la sequía, el número de desastres y la temperatura ha ido en aumento, además de que la precipitación ha mostrado una ligera disminución.

Mientras que 49.6 % de los municipios (1160), han permanecido en condiciones ambientales estables. El número de desastres ha sido constante, la intensidad de la sequía ha tendido a disminuir y la precipitación ha aumentado.

Por otro lado, 33.5 % de los municipios (827), presentaron aumentos en su estabilidad ambiental. La intensidad de las sequías y el número de desastres ha disminuido, y la precipitación y temperatura han aumentado (Figura 15 y Figura 18).



Figura 15. Evolución temporal de las variables que miden la estabilidad ambiental en varios municipios.

Municipios representados de acuerdo con el Indicador de estabilidad de los alimentos: condiciones menos favorables: Hechelchakán, Cam. (---); mejores condiciones: Zozocolco de Hidalgo, Ver. (---); disminución en la estabilidad: Choapas, Ver. (---); estable: San Quintín, BC. (---); aumento en la estabilidad: Tehuacán, Pue. (---).

6.3.2. Estabilidad en los sistemas de producción

Los análisis de las variables consideradas para medir este subindicador muestran que 36.3 % de los municipios en el país (898), han disminuido su estabilidad en los sistemas de producción. Hay disminuciones en el número de cultivos agrícolas, en los productos derivados de la actividad pecuaria y en la producción pesquera junto con la cantidad de productos provenientes de esta actividad. También, en los ciclos de siembra, en la superficie con riego y los centros de distribución y almacenaje.

Mientras que la mayoría de los municipios, 58.4 % (1444), han mantenido la estabilidad en sus sistemas de producción. La producción pesquera y los productos que se obtienen de esta actividad han disminuido.

Los municipios que presentan aumentos en sus sistemas de producción son el 5.2 % (128). La producción pecuaria y los productos que generan a partir de ella han aumentado. Además de las tierras equipadas con riego y los centros de distribución y almacenaje de alimentos (Figura 16 y Figura 18).



Figura 16. Evolución temporal de las variables que miden la estabilidad de los sistemas de producción en varios municipios.

Municipios representados de acuerdo con el Indicador de estabilidad de los alimentos: condiciones menos favorables: Hechelchakán, Cam. (---); mejores condiciones: Zozocolco de Hidalgo, Ver. (---); disminución en la estabilidad: Choapas, Ver. (---); estable: San Quintín, BC. (---); aumento en la estabilidad: Tehuacán, Pue. (---).

6.3.3. Estabilidad económica y de precios

Los resultados de la estabilidad económica y de precios, muestran una proporción muy baja de municipios que han presentado disminución en este subindicador. Esta condición se presentó en 8.6 % (213) de los municipios del país. Las dos variables empleadas para medir dicho subindicador han disminuido.

El resto de los municipios del país está dividido equitativamente en aquellos que se mantienen económicamente estables y los que han aumentado su estabilidad económica. Respectivamente, 49 % (1211) y 42.4 % (1047) de los municipios han mantenido y aumentado su estabilidad (Figura 17 y Figura 18).

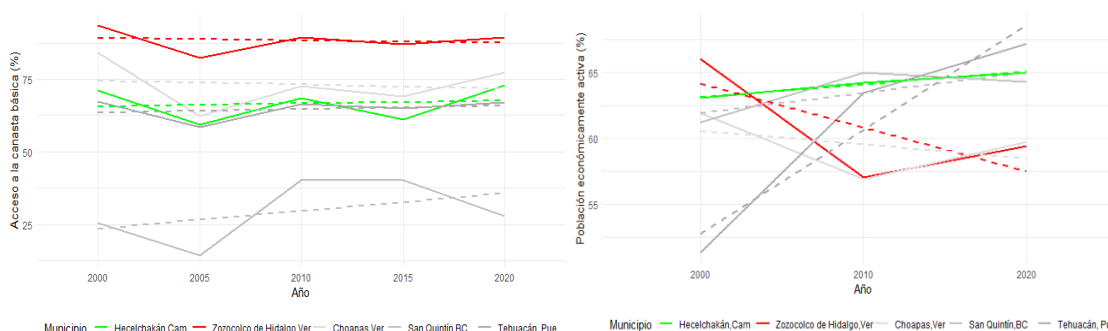


Figura 17. Evolución temporal de las variables que miden la estabilidad económica y de precios en varios municipios.

Municipios representados de acuerdo con el Indicador de estabilidad de los alimentos: condiciones menos favorables: Hecelchakán, Cam. (---); mejores condiciones: Zozocolco de Hidalgo, Ver. (---); disminución en la estabilidad: Choapas, Ver. (---); estable: San Quintín, BC. (---); aumento en la estabilidad: Tehuacán, Pue. (---).

6.3.4. Estabilidad de los alimentos

El indicador de estabilidad de los alimentos revela que el 28 % de los municipios, es decir, 699 municipios, han experimentado una disminución en su estabilidad alimentaria entre los años 2000 y 2021. En contraste, el 59.4 % de los municipios, equivalentes a 1469 municipios, han mantenido niveles estables de estabilidad alimentaria. Por otro lado, el 12.3% de los municipios, que corresponde a 303 municipios, han registrado incrementos en su estabilidad alimentaria. Estos datos

se presentan en detalle en el Cuadro 16 y se ilustran gráficamente en la Figura 18.

Cuadro 16. Variación de los subindicadores empleados para mediar la estabilidad de los alimentos de acuerdo con el indicador.

Indicador EA	Estabilidad ambiental	Estabilidad en los sistemas de producción	Estabilidad económica y de precios
Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye
Estable	Estable	Disminuye	Aumenta
Aumenta	Aumenta	Estable	Aumenta

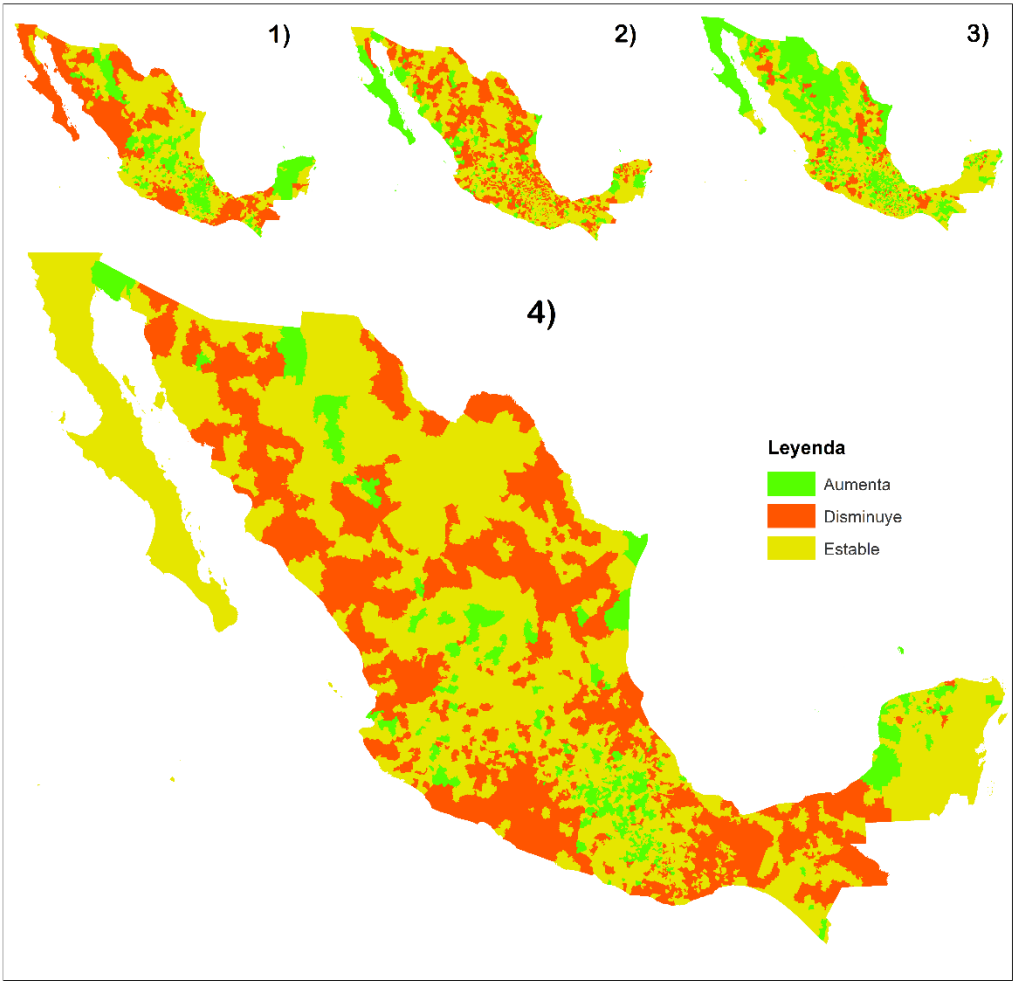


Figura 18. Estabilidad alimentaria municipal en México: Resultados del indicador y subindicadores

1) Subindicador de estabilidad ambiental; 2) Subindicador de estabilidad en los sistemas de producción; 3) Subindicador de estabilidad económica y de precios; 4) Indicador de estabilidad de los alimentos.

6.4. Discusión

En la actualidad, donde la seguridad alimentaria se vuelve cada vez más compleja, la necesidad de entender la estabilidad alimentaria cobra vital importancia. A pesar de la relevancia de este tema, las investigaciones detalladas y enfocadas a la estabilidad de los alimentos en este nivel específico, han sido limitadas, especialmente en México (Aguilar-Estrada et al., 2019; Urquía-Fernández, 2014) y de manera general, el uso de datos históricos para hacerlo, ha sido poco usado (Bren D'Amour & Anderson, 2020; Su et al., 2023).

En este contexto, los resultados de la presente investigación revelan importantes puntos que aportan información relevante al estudio de la estabilidad alimentaria mexicana, basada en tendencias. Ejemplo de ello es una tendencia preocupante en cuanto a la disminución de la estabilidad ambiental en un porcentaje significativo de municipios (19.6 %). Abordada desde la perspectiva de los cambios que se han presentado en el medio ambiente en los últimos años y que repercuten en las transformaciones en el uso de la tierra. Los resultados indican un incremento en la intensidad de la sequía durante los últimos 20 años, a pesar de que el promedio nacional de precipitación durante los periodos de crecimiento ha aumentado ligeramente. Es decir que, en las últimas décadas, las sequías que azotan el país son más severas. Asimismo, se ha observado un aumento en la temperatura de aproximadamente 0.8 °C durante el periodo de 1990 a 2021. Sin embargo, el número de desastres registrados por año ha ido disminuyendo en la última década.

Los anteriores son factores críticos que influyen directamente en la disponibilidad y calidad de los recursos naturales necesarios para la producción de alimentos. Estos hallazgos respaldan la noción de que el incremento proyectado en la frecuencia y magnitud de eventos meteorológicos extremos, combinado con la degradación de la salud del suelo y la disminución de la biodiversidad, podría

resultar en un aumento de los costos asociados con la producción de alimentos (Shahmohamadloo et al., 2021). Los sistemas agroalimentarios están en el centro de alarmantes tendencias ambientales y ofrecen oportunidades para abordar importantes desafíos en la época moderna (Reisman & Fairbairn, 2021). Las alteraciones en el clima impactan significativamente en la mayoría de los cultivos destinados a la alimentación, especialmente en naciones que tienen en la agricultura su principal fuente de subsistencia (Ribeiro et al., 2021).

El cambio climático es un factor crítico para la estabilidad de los sistemas de producción en México. Sin embargo, depende enteramente de las condiciones propias de cada municipio. El presente análisis reveló patrones divergentes. Mientras que unos municipios logran mantener su estabilidad (58.4 %), otros (36.3 %) experimentan disminuciones notables. Esta variabilidad puede estar vinculada con el hecho de que la agricultura es susceptible a las variaciones de temperatura y depende de las precipitaciones para su producción (Ribeiro et al., 2021).

El perfil agroalimentario de México se divide en tres zonas: el norte, con tierras áridas y semiáridas, realiza producción a gran escala con riego; el centro, caracterizado por climas tropicales y templados, alberga productores de diversos tamaños y una amplia variedad de cultivos; y el centro-sur, con climas tropicales o templados en áreas rurales aisladas, se dedica principalmente a la producción a pequeña escala, con limitada infraestructura y conexiones a las áreas de consumo (Torres-Lima et al., 2022b).

No obstante, los resultados indican que las disminuciones en la estabilidad en la producción de alimentos en las últimas dos décadas han sido equitativas en todo el país. Lo anterior sugiere que, a pesar de los diversos perfiles en los sistemas agroalimentarios, todos han sido afectados de manera similar. Del mismo modo, aquellos municipios que han logrado mantener su estabilidad en el periodo de tiempo analizado, se distribuye de manera uniforme en México. Caso contrario de aquellos municipios que lograron mejorar su estabilidad en los sistemas alimenticios, se encuentran en puntos muy específicos. Por ejemplo, la parte

noroeste del país principalmente y en menor superficie en el noreste y en la península de Yucatán.

Resulta interesante destacar que el caso de la zona noroeste de México, los resultados han mostrado que es la zona que presenta la mayor disminución en la estabilidad ambiental. Por lo que, estas mejoras en los sistemas de producción pueden ser atribuidos a prácticas agrícolas. Entre ellas, la diversificación de cultivos, equipamiento e infraestructura y la resiliencia frente a condiciones climáticas adversas. Respaldado bajo el argumento de que los sistemas tradicionales en México son altamente diversificados. Existen importantes diferencias significativas en cuanto a producción de los alimentos en los municipios. En algunos la producción local no abastece a su población y en algunos otros excede, lo que resulta difícilmente cuantificable (Torres-Lima et al., 2022b). Además de que, el notorio desarrollo agropecuario alcanzado en el norte del país en las últimas décadas, se puede explicar por el financiamiento que se destina a esta región por parte del gobierno federal (Rodríguez Sánchez et al., 2020).

Sumado a esto, la estabilidad económica y de precios surge como un componente crítico para evaluar la estabilidad de los alimentos (Su et al., 2023). Los resultados revelan la importancia de contar con el recurso económico para acceder a la canasta básica. La zona norte y centro-sur del país mostraron incrementos en estas condiciones. No obstante, mantener la estabilidad no significa que se encuentren en buenas condiciones económicas. Se puede constatar con el Instituto Nacional de Salud Pública (2021), que indicó que actualmente, 59.1% de los hogares mexicanos no tiene los recursos necesarios para obtener una alimentación suficiente en cantidad y calidad.

En conjunto, los resultados revelan una imagen completa de la estabilidad de los alimentos en el país a nivel municipal. Al desglosar los datos por subindicador se observan patrones distintos en la estabilidad ambiental, de los sistemas de producción y de la económica y de precios. Muestra disminuciones importantes en la estabilidad de los sistemas de producción principalmente, dada en gran

medida por la pérdida de la diversidad de cultivos y productos derivado de la actividad agrícola, pecuaria y pesquera, así como en los centros de distribución y almacenaje de los alimentos. Las disminuciones en la estabilidad ambiental, para este grupo de municipios, está dada principalmente por el aumento de la temperatura y la intensidad de la sequía. Para la estabilidad económica y de precios, su baja se debe principalmente a la reducción en el porcentaje de la población con acceso a la canasta básica.

La disminución de la estabilidad ambiental en la zona norte del país, caracterizada por tierras áridas y semiáridas, contrasta con la estabilidad y mejoras de la zona centro y gran parte de la península de Yucatán. Sumado a la variabilidad de las afectaciones en los sistemas de producción en todo el territorio nacional. Además de las condiciones de mejora en términos económicos de gran parte del norte del país y centro, dan como resultado una conclusión preocupante de la estabilidad de los alimentos en México.

La disminución que muestra el indicador se distribuye en gran parte del norte del país, acentuada en la región costera del centro-sur y el sur del país, exceptuando la península de Yucatán. Este hallazgo sugiere que los desafíos en la estabilidad alimentaria no solo están vinculados a características climáticas o productivas específicas. También reflejan tendencias más amplias que afectan a nivel nacional. Se ha identificado en otros estudios, que la diversificación de los medios de vida es un factor importante que garantiza la estacionalidad de la seguridad alimentaria, donde influyen factores demográficos, socioeconómicos y de producción, en los que destaca la generación de ingresos mediante la agricultura de subsistencia principalmente de los países en desarrollo (Dodd et al., 2020).

Algunos estudios ofrecen diversas alternativas que contribuyen a la estabilidad de los alimentos a pequeñas escalas, como son el apoyo al cultivo de cereales (Chen et al., 2023) y al sistema de agricultura familiar campesina (Camacho Vargas et al., 2022), el consumo de insectos (Ortiz García et al., 2023) y de alimentos secos (Beristáin et al., 2011) como parte de una dieta diversificada, el

desarrollo de agronegocios rurales (Herliana et al., 2019; Séogo, 2022) y el turismo (Gebeyaw Ambelu & Tucker, 2018) como alternativas económicas.

6.5. Conclusiones y recomendaciones

La disminución significativa en la estabilidad ambiental, marcada por la intensificación de sequías y cambios en las variables climáticas como temperatura y precipitación, resalta la vulnerabilidad del sistema alimentario mexicano. Además, las variaciones en los sistemas de producción, especialmente la pérdida de diversidad de cultivos y la disminución de la producción pesquera, plantean desafíos sustanciales. Estos desafíos incluyen la reducción en la disponibilidad de recursos hídricos para riego, la mayor incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos debido a condiciones climáticas extremas, y la amenaza a la biodiversidad agrícola que afecta la resiliencia de los sistemas alimentarios. La combinación de estos factores puede llevar a una mayor inseguridad alimentaria y a la necesidad urgente de adaptar las estrategias agrícolas para garantizar la sostenibilidad y la seguridad alimentaria en el país.

La estabilidad económica y de precios también emerge como un área crítica, evidenciando problemas en el acceso a la canasta básica y la situación laboral de la población. Los resultados subrayan la interconexión entre los factores ambientales, productivos y económicos en la determinación de la estabilidad alimentaria.

Se recomienda adoptar un enfoque holístico en las políticas y estrategias, considerando la interdependencia entre los componentes ambientales, de producción y económicos. Esto implica el diseño de intervenciones integradas que aborden simultáneamente los desafíos identificados. Por ejemplo, se pueden implementar prácticas agrícolas sostenibles que optimicen el uso de recursos hídricos, promover la diversificación de cultivos para mejorar la resiliencia frente a plagas y enfermedades, y apoyar la transición hacia métodos de producción más eficientes y menos dependientes de insumos externos. Establecer un sistema continuo de monitoreo y evaluación basado en indicadores relevantes

permitirá un seguimiento efectivo de las tendencias y la efectividad de las intervenciones, facilitando la toma de decisiones informadas. El enfoque novedoso de considerar las tendencias del pasado hacia el futuro proporciona una base sólida para la planificación a largo plazo. Se sugiere la incorporación de proyecciones futuras y escenarios climáticos en la toma de decisiones, como la planificación de infraestructuras resistentes al cambio climático y el desarrollo de políticas que fomenten prácticas de adaptación y mitigación. Esto permitirá una respuesta anticipada a posibles cambios en la estabilidad alimentaria y fortalecerá la capacidad de adaptación del sistema alimentario.

6.6. Literatura citada

- Aguilar-Estrada, A. E., Caamal-Cauich, I., Barrios-Puente, G., & Ortiz-Rosales, M. Á. (2019). ¿Hambre en México? Una alternativa metodológica para medir seguridad alimentaria. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53). <https://doi.org/10.2307/40184061>
- Bandara, J. S., & Cai, Y. (2014). The impact of climate change on food crop productivity, food prices and food security in South Asia. *Economic Analysis and Policy*, 44(4), 451–465. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eap.2014.09.005>
- Beristáin, C., Vernon-Carter, E., & Azuara, E. (2011). Thermodynamic and kinetic criteria to study the stability of dried foods. In M. A. Comeau (Ed.), *New topics in food engineering* (pp. 151-170). Nova Science Publishers, Inc.
- Bradbear, C., & Friel, S. (2013). Integrating climate change, food prices and population health. *Food Policy*, 43, 56–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.08.007>
- Bren D'Amour, C., & Anderson, W. (2020). International trade and the stability of food supplies in the Global South. *Environmental Research Letters*, 15(7), Article 074005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab832f>
- Burey, P., Panchal, S. K., & Helwig, A. (2022). Chapter2 - Sustainable food systems. In P. Juliano, R. Buckow, M. H. Nguyen, K Knoerzer, & J. Sellahewa (Eds.), *Food engineering innovations across the food supply chain* (Chapter 2, pp. 15-46). FAO. (2024). *Conjunto de indicadores de seguridad alimentaria*. Estadísticas de la FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS>
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Camacho Vargas, C. A., Cuyabazo Burbano, L. Y., & Sánchez Castillo, V. (2022). Diagnosis of the peasant family farming system and its contribution to the food

- security of a peasant family in the San Antonio de Atenas village, Florencia, Caquetá. *Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 1, 1–20. <https://doi.org/10.56294/sctconf202241>
- Carvajal, Y., & Castro, L. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 9, 15–25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>
- CEPAL. (2009). *Guía metodológica diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible* (109 p.). CEPAL. https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/9/35989/disenio_indicadores_compuestos_ddss.pdf
- Chen, X., Shuai, C., & Wu, Y. (2023). Global food stability and its socio-economic determinants towards sustainable development goal 2 (Zero Hunger). *Sustainable Development*, 31(3), 1768–1780. <https://doi.org/10.1002/sd.2482>
- Correa Ortiz, L. C., Ocampo López, O. L., & Alba Castro, M. F. (2021). Análisis de tendencia de temperatura y precipitación para el departamento de Caldas (Colombia), mediante wavelets. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 37–52. <https://doi.org/10.18359/rcin.4900>
- Cruz-Sánchez, Y., Aguilar-Estrada, A., Moral, J. B., & Monterroso-Rivas, A. I. (2024). El acceso a los alimentos en México: clave para la soberanía y seguridad alimentaria. *Agroalimentaria*. In review
- Cruz-Sánchez, Y., Aguilar-Estrada, A., Moral, J. B., & Monterroso-Rivas, A. I. (2024). The availability of food in Mexico: an approach to measuring food security. *Agriculture & Food Security*. In print. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40066-024-00484-2>
- Cruz-Sánchez, Y., Moral, J. B. Del, García, A. G. R., & Monterroso-Rivas, A. I. (2022). Methodological Approaches to Food Security Assessment in Mexico. *Revista de Filosofía*, 39(100), 530–551. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6028687>
- Dodd, W., Gómez Cerna, M., Orellena, P., Humphries, S., Sadoine, M. L., Zombré, D., Zinszer, K., Kipp, A., & Cole, D. C. (2020). Factors associated with seasonal food insecurity among small-scale subsistence farming households in rural Honduras. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). Article 706. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030706>
- Espindula de Quadros, L., Lemos de Mello, E., Martins Gomes, B., & Araujo, F. C. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Água*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Esri. (2018). ArcMap (10.4.1). Esri. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/get-started/installation-guide/installing-on-your-computer.htm>
- FAO. (1996). Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria y Nutricional Mundial y Plan de Acción de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación. <https://www.fao.org/4/w3613s/w3613s00.htm>

- Gebeyaw Ambelu, B. L., & Tucker, H. (2018). Empty bowls: conceptualising the role of tourism in contributing to sustainable rural food security. *Journal of Sustainable Tourism*, 26(10), 1749–1765. <https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1511719>
- Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I., Tinoco-Rueda, J. A., & López-García, J. (2007). Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Zonas Áridas*, 11(1), 61–69. <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art04.pdf>
- Herliana, S., Aina, Q., Sutardi, A., Lawiyah, N., & Ulfah, W. N. (2019). Analysis of the competency on agribusiness activities in developing and developed countries. *Academy of Entrepreneurship Journal*, 3, 25. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2022.3.3.368>
- Mundo-Rosas, V., Unar-Munguía, M., Hernández-F., M., Pérez-Escamilla R., Shamah-Levy T. (2021). Seguridad alimentaria en hogares mexicanos. *Síntesis Sobre Políticas de Salud*, 61(6), 866-875 <https://doi.org/10.21149/10579>
- Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1–19. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Moral Peláez, I. (2006). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. *Métodos Estadísticos para Enfermería Nefrológica*, 195–214. <https://www.revistaseden.org/files/14-CAP%2014.pdf>
- Orduño Torres, M. A., Kallas, Z., & Ornelas Herrera, S. I. (2020). Farmers' environmental perceptions and preferences regarding climate change adaptation and mitigation actions; towards a sustainable agricultural system in México. *Land Use Policy*, 99, Article 105031. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105031>
- Organización Meteorológica Mundial. (2024). Servicio de Información Meteorológica Mundial. <https://worldweather.wmo.int/es/home.html>
- Ortiz García, A. I., Pedro, E. P., Pacheco Cruz, R., & Toledo, S. L. (2023). Entomofagia: seguridad alimentaria (disponibilidad y estabilidad) en una zona rural de Oaxaca, México. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 29(2), Article 8. https://renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC-D-23-0019._Final.pdf
- Ramírez, R. F., Vargas, P. L., & Cárdenas, O. S. (2020). La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Espacios*, 41(45), 319–328. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n45p25>
- Reisman, E., & Fairbairn, M. (2021). Agri-food systems and the anthropocene. *Annals of the American Association of Geographers*, 111(3), 687–697. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1828025>

- Ribeiro, J. M. P., Berchin, I. I., da Silva Neiva, S., Soares, T., de Albuquerque Junior, C. L., Deggau, A. B., de Amorim, W. S., Barbosa, S. B., Secchi, L., & de Andrade Guerra, J. B. S. O. (2021). Food stability model: A framework to support decision-making in a context of climate change. *Sustainable Development*, 29(1), 13–24. <https://doi.org/10.1002/sd.2128>
- Rodríguez Sánchez, L. M., Burgin, M. J., Covantes Torres, L., Cuevas Mendoza, J. R., Fuentes Ponce, M., Flores Macías, A., Fuentes Galindo, T. G., Neve, C., & Torres Lima, P. A. (2020). *Producción sostenible de alimentos en México* 2018. L. L. Cámara de Diputados. <https://doi.org/10.24836/es.v29i53.719>
- Rose, D., Heller, M. C., & Roberto, C. A. (2019). Position of the society for nutrition education and behavior: The importance of including environmental sustainability in dietary guidance. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 51(1), Article 3-15.e1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jneb.2018.07.006>
- RStudio Team. (2022). RStudio: Integrated Development for R. RStudio (2022.7.0.548). PBC. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- San Agustín-Canales, N., Cruz-Sánchez, Y., Borja-de la Rosa, M. A., González-Tepale, M. R., & Monterroso-Rivas, A. I. (2023). Drought and vulnerability in Mexico's forest ecosystems. *Forests*, 14(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/f14091813>
- Séogo, W. (2022). Preventing households from food insecurity in rural Burkina Faso: Does nonfarm income matter? *Agribusiness*, 38(4), 1032–1047. <https://doi.org/10.1002/agr.21755>
- Shahmohamadloo, R. S., Febria, C. M., Fraser, E. D. G., & Sibley, P. K. (2021). The sustainable agriculture imperative: A perspective on the need for an agrosystem approach to meet the United Nations Sustainable Development Goals by 2030. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(5), 1199–1205. <https://doi.org/10.1002/ieam.4558>
- Su, F., Liu, Y., Chen, S.-J., & Fahad, S. (2023). Towards the impact of economic policy uncertainty on food security: Introducing a comprehensive heterogeneous framework for assessment. *Journal of Cleaner Production*, 386, Article 135792. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135792>
- Torres-Lima, P., Conway-Gómez, K., & Torres-Vega, P. (2022). Agriculture-Food Nexus. The paradox of sustainable development in Mexico BT. In - W. Leal Filho, M. Kovaleva, & E. Popkova (Eds.), *Sustainable Agriculture and Food Security* (pp. 17–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9_2
- Urquía-Fernández, N. (2014). *La seguridad alimentaria en México*. Salud Publica de Mexico, 56(SUPPL.1), S92–S98. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903842306&partnerID=40&md5=43345faa4b32c7da99a210ffb9f33c4c>

- Wang, J. (2010). Food security, food prices and climate change in China: a Dynamic panel data analysis. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, 321–324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2010.09.040>
- Williams, R., Mallen, C., & Macías, A. Á. (2014). La seguridad alimentaria y las políticas públicas. Una visión conceptual. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 14(27), 1–30. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/260>

CAPÍTULO 7: EXPLORING FOOD SECURITY AND INSECURITY IN MEXICO: VULNERABLE REGIONS DUE TRENDS AND CLIMATE CHANGE

Artículo enviado a la revista Food Security
<https://link.springer.com/journal/12571>

Abstract

Climate change is drastically affecting agriculture, markets, and infrastructure, putting global food security at risk. Mexico faces major challenges, with a significant portion of its population experiencing moderate to severe food insecurity. This study presents a novel methodology for assessing food security in Mexico that incorporates the impacts of climate change. The methodology combines a thorough analysis of four dimensions: availability, access, use and stability. It includes 48 variables at the municipalities level and establishes a baseline scenario with data from 2020. It projected some variables to two future scenarios: one that follows the observed trend of the last 20 years and another that includes climate change (temperature and precipitation). Principal component analysis and Dalenius and Hodges stratification were used to classify municipalities into very high, high, medium, and low food security categories. Low food security includes municipalities with the worst conditions in most of the dimensions or variables analyzed. Very high food security refers to municipalities with the best conditions in all variables. Food security problems are defined as municipalities classified as having medium or low food security. Results indicate that, in the baseline scenario, 45% of municipalities face food security problems, including issues such as insufficient agricultural productivity, limited access to food due to economic and/or infrastructural constraints, as well as health-related problems and lack of basic services. 15% of municipalities were classified as having low food security. Future projections suggest an increase in food insecurity by 6% and 7% in the trend and climate change scenarios, respectively, reaching 51% and 52% of municipalities. The greatest impact is observed in the southern part of the country and in the mountainous areas of the center-north. Twelve

regions were identified as the most vulnerable to food insecurity. This set of indicators is recommended to monitor risks associated with climate change.

Keywords: current food security; future food security; food availability, food insecurity, food production.

7.1. Introduction

Climate change is a major threat to global food security (El Mokhtar et al., 2019). It affects food systems through crop production, changes in markets, and disruptions in infrastructure, leading to vulnerabilities in food availability, access, utilization, and stability (Islam & Kieu, 2021). It also affects water availability, extreme weather events, and environmental degradation directly (IPCC, 2022).

The goal of a conceptual frameworks for studying food security is that zero hunger is ensured globally, including forms of extreme hunger or hidden hunger, that which refers to the need for nutrient-rich food to improve physical and mental health (Saint Ville et al., 2019). The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) defines food security as ensuring a country's food independence and guaranteeing the population's access to quality food (Ivanov & Yudina, 2023). Its dimensions include food availability, access, utilization, and stability (de Pee & Pérez-Escamilla, 2023). Food insecurity is the limited availability or access of households or individuals to food, in quantity and quality sufficient.

Some ways of assessing food security include quantitative and qualitative approaches. A common pattern is the use of economic and agricultural indicators using statistical analysis and clustering (Vytvytska & Kovalova, 2022). Another important approach is the assessment of nutritional needs (Omarov et al., 2017) and food quality (Khan & Rahman, 2021; Uyeh et al., 2020). There are several studies on Food security done for Mexico, most of which assess food security using some type of survey at the national level (Melgar-Quíñonez et al., 2010; Shamah-Levy et al., 2014; Mundo-Rosas et al., 2019). However, few studies have used all four dimensions (Urquía-Fernández, 2014; Aguilar-Estrada et al., 2019).

Indicators have been used to obtain an approach to measure one or two dimensions (Zárate Guevara et al., 2016) (Galeana-Pizaña et al., 2018). Therefore, it is important to expand the measurement of food security through a comprehensive approach, with focused indicators linked to the dimensions proposed by FAO. In addition, the studies are often done at national or regional scale (Galeana-Pizaña et al., 2021). Thus, few studies have been carried out at the municipal scale (Zárate Guevara et al., 2016), and it is important to work at these smaller scales to better capture local specificities.

While it is true that climate change is affecting food security worldwide, the effect is more

pronounced in developing countries (Ahmed et al., 2023). Therefore, global attention must be focused on improving data integration, strengthening research in these countries, adapting mathematical models, and promoting international cooperation. These actions are critical to addressing the impacts of climate change on food security (Liu et al., 2021).

In Mexico, eight million households suffer from food insecurity due to lack of resources, and 35.4% of rural households are classified as moderately or severely food insecure Díaz-Carreño et al. (2019). The causes are the global market and economic inequality in the country (Soria Sánchez & Palacio Muñoz, 2014). The country faces several challenges to achieve food security. These challenges range from economic inequality that limits access to healthy food, to the fragmentation of agrifood chains that serve different markets, to the lack of coordination in food regulations and inadequate safety certification (Mayett-Moreno & Oglesby, 2018; Torres-Lima et al., 2022). Addressing these challenges is critical to improving food security, reducing inequalities, and ensuring healthy lives for the population.

This study analyzes the four dimensions of food security at the community level for the entire country. The objective was to obtain a holistic assessment of food security vulnerability, which does not exist for the country as a whole, taking into

account the impacts of climate change. The study seeks to understand the complex interactions between climatic, socio-economic, environmental and production factors that influence food security and to provide a national spatial vision. This will provide valuable information for the design and implementation of policies and strategies aimed at strengthening the resilience of the Mexican food system in the face of emerging climate challenges.

7.2. Materials and methods

7.2.1. Conceptual framework

A food security approach has been adopted that considers four dimensions for its assessment, as described below:

Food availability refers to the existence of sufficient quantities of food of adequate quality, supplied by domestic production or imports. It includes a country's domestic food production, imports and exports, and food aid. It also includes food storage capacity. Seventeen variables were considered in this study to measure food availability at the community level (Table 17).

Physical and economic access to food refers to people's ability to purchase healthy food through access to economic income or the availability of wages. Access is closely linked to consumer supply and demand and to national food policies. The distance between production and distribution centers and the infrastructure available for domestic agrifood trade also affect significantly the accessibility of food for household purchases. In this study, seven variables were considered to measure access to food in communities (Table 17).

The use of food reflects that food should be of adequate quality and variety, in addition to being able to be prepared appropriately and in a hygienic environment. The way food is prepared according to people's culture and tradition is a tribute that is difficult to include but should be considered. In this study, ten variables were considered to measure the capacity to use food at the community level (Table 17).

Food stability is an additional element of the food safety concept that can include the temporal stability of the three previous dimensions. It seeks to evaluate the time of food production. The permanence of certain problems in a given place is a determining factor of food security. In this study, 14 variables with 20 years of information were considered to measure the stability of food production at the municipal level (Table 17).

Under these terms, the research considers that for an individual to achieve full food satisfaction, the four previously mentioned dimensions must be met (considering the proposed variables measured in each, see Table 17). Therefore, the absence of any of these dimensions may indicate the presence of food insecurity in varying degrees. The more variables that reflect optimal conditions, the higher the level of food security can be considered. Conversely, the more variables that are deficient, the lower the level of food security.

Some considerations and limitations of this methodology include: adequate food supplies are available throughout the year; the population has physical and economic access to sufficient quantity, quality and variety of food; household heads and those responsible for food preparation have the time, knowledge and motivation to ensure that the food needs of all family members of different ages are met. It should be added that the way food is prepared by indigenous groups, culture and traditions is included in the used variables. The scale of work of community groups is mostly average information and hides the particular situations of families and individuals. The used information is in an open access format and is considered representative and calibrated. There is information that is not found at small scales and could not be included in this type of study.

Table 17. Dimensions and variables used to measure food security in Mexico.

Variable	Unit	Reference
Food availability		
<i>Environmental conditions for production</i>		
Irrigation or moisture for production	Categorical	This study
Land suitability for agriculture	Dimensionless	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)

Rangeland coefficient, carrying capacity	Animal unit/ha	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
Exposure to climate and natural phenomena	Dimensionless	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
<i>Social conditions of production</i>		
Marginalization or development	Dimensionless	(Aguilar-Estrada et al., 2019); (Galeana-Pizaña et al., 2018)
Agricultural insurance or agricultural credit	%	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
<i>Food provision</i>		
Total crop production	Tons	(FAO et al., 2015); (Shamah-Levy et al., 2017); (Torres-Torres & Rojas-Martínez, 2019); (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020); (Díaz-Carreño et al., 2016)
Number of crops planted	Number	(Zárate Guevara et al., 2016)
Total livestock production	Tons	(FAO et al., 2015); (Shamah-Levy et al., 2017); (Torres-Torres & Rojas-Martínez, 2019); (Díaz-Carreño et al., 2016)
Total fishery production	Kilograms	(Zárate Guevara et al., 2016); (Díaz-Carreño et al., 2016)
Number of fishery products	Number	(FAO et al., 2015); (Shamah-Levy et al., 2017)
<i>Caloric and protein sufficiency (produced)</i>		
Availability of calories	%	(Camberos Castro, 2000); (FAO et al., 2015); (Urquía-Fernández, 2014); (Malpica Zárate & Miranda Zambrano, 2016)
Availability of proteins	%	(Camberos Castro, 2000); (FAO et al., 2015); (Malpica Zárate & Miranda Zambrano, 2016)
<i>Food supply</i>		
Population served by points of sale	%	(FAO et al., 2023)
Population served by markets	%	This study
Population served by street markets	%	This study
Inaccessibility and lack of roads	%	This study
Physical and economic access to food		
<i>Physical access</i>		
Distribution and concentration centers of food services	%	This study
Access to food points of sale in the municipality	%	(FAO et al., 2023)
<i>Economic access</i>		
Population with access to the basic food basket	%	(Zárate Guevara et al., 2016); (Aguilar-Estrada et al., 2019)
Employed or working population	%	(Díaz-Carreño et al., 2016)
Population with more than two minimum wages in the municipality	%	(Zárate Guevara et al., 2016); (Shamah-Levy et al., 2017)
Population without food deprivation in the municipality	%	(Torres-Torres & Rojas-Martínez, 2019); (Torres & Rojas, 2020)
<i>State economic access</i>		

Stability of the consumer price index	%	(FAO et al., 2015); (Díaz-Carreño et al., 2016)
Food stability		
<i>Environmental problems</i>		
Magnitude and total droughts presented	Intensity	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
Average annual precipitation	Millimeters	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
Average annual temperature	°C	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
<i>Production system</i>		
Average agricultural production	Tons	(FAO et al., 2015)
Average number of agricultural crops	Number	(FAO et al., 2015)
Average livestock production	Tons	(FAO et al., 2015)
Average number of livestock products	Number	(FAO et al., 2015)
Average fishery production	Kilograms	(FAO et al., 2015)
Average number of fishery products	Number	(FAO et al., 2015)
Average production cycles	Number	This study
Average storage and accumulation of "permanent" food	%	This study
Average irrigated land	%	(FAO et al., 2015)
<i>Economic systems</i>		
Population with access to the basic food basket	%	(FAO et al., 2015)
Economically active population	%	This study
Food use		
<i>Basic services</i>		
Population with drinking water service	%	(FAO et al., 2015); (Malpica Zárate & Miranda Zambrano, 2016); (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
Population with health services affiliation	%	(FAO et al., 2015); (Torres & Rojas, 2020); (Galeana-Pizaña et al., 2021)
Population with sanitation services	%	(FAO et al., 2015); (Malpica Zárate & Miranda Zambrano, 2016)
Households with fuel for food preparation (wood, electricity, gas, and others)	%	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
Households with electricity	%	(Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
<i>Food consumption</i>		
Diversity in food production	Number	(Zárate Guevara et al., 2016); (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2020)
Food supply	%	This study
<i>Nutritional status</i>		
Population with obesity (20 years and older)	%	(FAO et al., 2015)

Cases (2022) of severe malnutrition in children	Number	(FAO et al., 2015); (Torres & Rojas, 2020)
Children attended (2022) for diarrheal disease (<5 years)	Number	(FAO et al., 2015)

The methodology consisted of four parts: 1) assessment of current food security, 2) assessment of future food security, 3) statistical analysis, and 4) regionalization of food security vulnerability in the country, which is escribed below:

7.2.2. Current food security index

A food security index was constructed using forty-eight variables (Table 17) at the municipal level for the entire country. Mexico is divided in 2,471 municipalities within thirty-two states. The variables correspond to four dimensions and thirteen sub-dimensions (Figure 19).

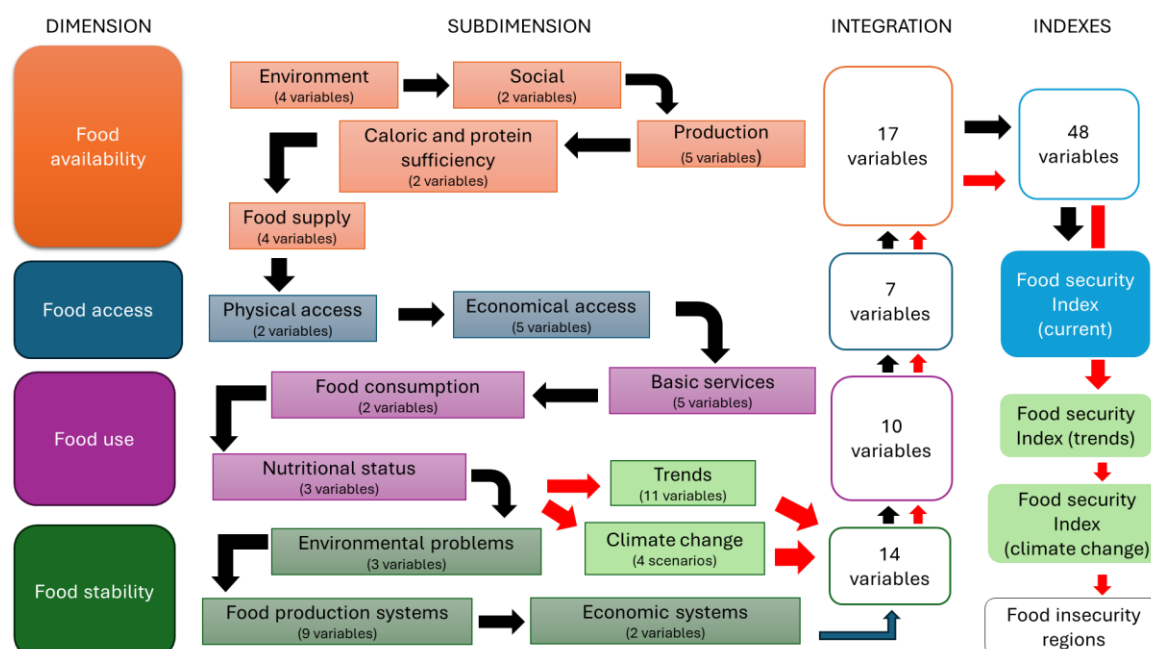


Figure 19. Variables and dimensions of the food security conceptual framework
Source: prepared by the authors.

The index of food security in the municipalities of Mexico was obtained using principal component analysis (PCA) (Elhaik, 2022; Marukatatat, 2023), taking the weights of the first principal component (PC1).

Bartlett's test of sphericity was performed to ensure the validity of statistical inferences by assessing the equality of variances between different populations (Abucheos, 2014). In addition, the Kaiser-Meyer-Olkin coefficient (KMO) was used to assess the suitability of the data for analysis (Costales et al., 2022). These tests confirmed that the use of PCA to generate indicators is statistically adequate and that the results obtained are reliable. The calculations were performed in the programming language Python (Challenger-Pérez et al., 2014).

For the categorization of the indices generated for each scenario, the method proposed by Dalenius and Hodges (Dalenius & Jr, 1959; INEGI, 2010) was used as the optimal stratification technique to classify the communities. Thus, the results of the PCA were classified into four food security classes (Table 18).

Table 18. Food security classes and ranges for Mexico.

Class	Min Value	Max Value
Very high food security	-14.697	-2.745
High food security	-2.756	0.243
Medium food security	0.244	3.231
Low food security	3.232	7.714

The combination of PCA and the stratification proposed by Dalenius and Hodges is a statistical technique of high discriminatory quality in the construction of an index, to the point that various national and international institutions have used it for index stratification (Maldonado-Méndez et al., 2022). The results obtained represent the "baseline scenario" for food security in Mexico in 2020.

7.2.3. Future food security

The study considered the construction of two future scenarios, a) trend scenario, and b) climate change scenarios.

Trend scenario. It was constructed by replacing eleven variables of the food stability dimension. The variables show the trend that each variable has followed over the last 20 years (Table 19). This was done through a simple linear regression where the dependent variable, y, is each of the variables used and the independent variable, x, is time. From this result, its 50-year trend was projected

using the slope of the line m (Li, 2022). Thus, the scenario shows a future based on the trend of the last 20 years if the country's behavior is continued.

Table 19. Stability variables considered for the baseline scenario.

Stability Variable	Description and Unit of Measurement
Intensity and frequency of droughts	Frequency of drought type in the last 20 years *
Precipitation	Change in average rainfall (mm) over 30 years
Temperature	Change in average temperature (°C) over 30 years
Agricultural production	Change in average production (tons) over 18 years
Number of agricultural crops	Change in average number of crops over 18 years
Livestock production	Change in average production (tons) over 15 years
Number of livestock products	Change in average number of products over 15 years
Fishery production	Change in average production (kg) over 16 years
Number of fishery products	Change in average number of products over 16 years
Number of production cycles	Change in average number of cycles over 18 years
Irrigated land area	Change in average area (ha) over 20 years

*Drought intensity: 1= no drought; 2= mild drought; 3= moderate drought; 4= severe drought; 5= extreme drought.

Climate change scenarios. Climate change projections were based on the application of four general global circulation models (GCMs): Had-GEM, MIROC 6, MRI-ESM2 and CNRM-CM6. Future climate data from the SSP58.5 scenario for the period 2081-2100, with a spatial resolution of 30 seconds, obtained from WorldClim (https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html) were used. Temperature and precipitation data at the municipal level were replaced in the baseline scenario to form the climate change scenario.

In both cases of the trend and climate change scenarios, PCA was applied after replacing the variables to obtain the indicator and categorized by Dalenius and Hodges to classify the municipalities again.

7.2.4. Food security vulnerable regions

Current scenario was compared with future scenarios to define the regions at risk of food insecurity. Only the low food security category was considered in the comparison. Thus, we identified the municipalities that, due to the effects of climate change, will become low food security municipalities (they do not belong to this category in the *baseline scenario*), as well as those that will remain in the same category. Finally, they were grouped into twelve *regions vulnerable to future food security* according to their proximity and similar characteristics in the following variables.

The results of current and future food security and vulnerable areas are presented. All digital maps were processed using ArcMap software, version 10.4.1.

7.3. Results

7.3.1. Current food security

The stratification of the food security index showed significant variability among Mexico's municipalities. In the base scenario of food security for the year 2020, it was found that 45% of the country's municipalities (1117) face food security problems, classified in the medium-low category. Out of these, 368 municipalities (15%) are in the "low food security" category, the most worrisome and vulnerable. Meanwhile, the "medium food security" category includes 749 municipalities, representing 30% (Figure 20).

Adequate food security conditions were observed in 55% of the country's municipalities (high and very high categories). The high food security category is present in 959 municipalities, or 38.8% of the total (Figure 20). Very high food security conditions are found in 395 municipalities, or 16%. It is noteworthy that the region most affected by lack of food security is located in the southern part of the country, which includes most of the states of Guerrero, Oaxaca and Chiapas. In contrast, the northern part of Mexico has the best food security conditions (Figure 21).

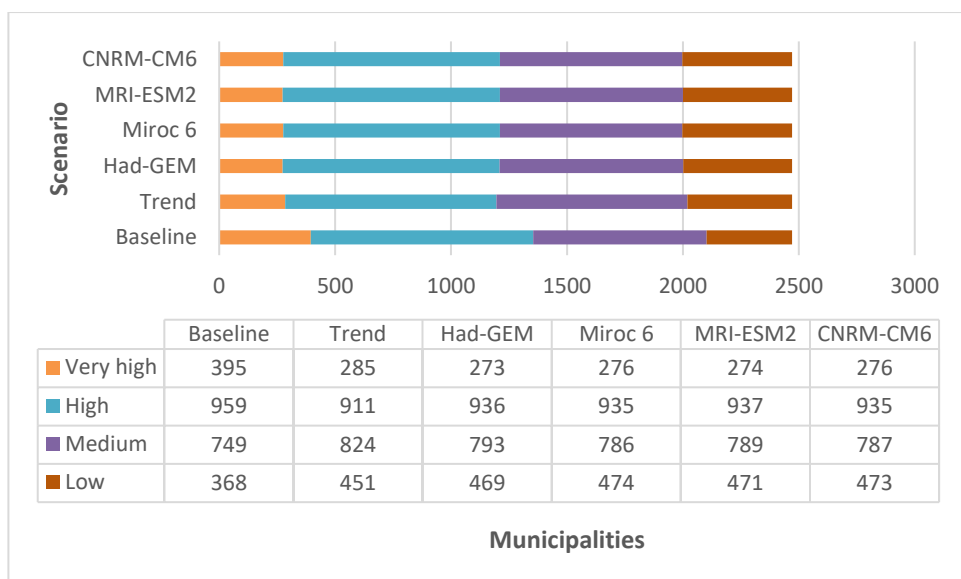


Figure 20. Total municipalities by food security category according to the scenario for Mexico.

7.3.2. Future food security scenarios

The projection scenarios for future food security show significant variability among municipalities. In general, there is a decrease in the number of municipalities in the "very high" and "high" food security categories. The "medium" and "low" food security categories show an increase in the number of municipalities compared to the *baseline scenario*.

Trend scenario: the results show that, if the current trend continues for 50 years, 52% of the municipalities would have food security problems (medium and low categories). This is due to an increase of 22.6% in the low food security category (83 municipalities) and 10% (or 75 municipalities) in the "medium food security" category. If the trend continues, 48 municipalities (5%) will decrease their "high food security" conditions and 110 municipalities (28%) will decrease their "very high food security" category (Figure 20).

Climate change scenarios: The four scenarios showed similar behavior among themselves and were also consistent with the results of the baseline scenario (Figure 21). The results show that in the long term (around the year 2100), 51% of the communities will suffer from food security problems due to the effects of

climate change (1260). In the "low food security" category, changes between 27% and 28% are observed with respect to the baseline scenario. This implies an increase of slightly more than one hundred municipalities in this category due to the impact of climate change. In the "medium food security" category, there is an increase of about forty municipalities with respect to the baseline scenario. Finally, in the "high" and "very high" food security categories, the number of municipalities decreases (2.5% and 30%, respectively). In other words, 23 and 120 municipalities, respectively, would no longer have adequate food security conditions (Figure 20 and Figure 21).

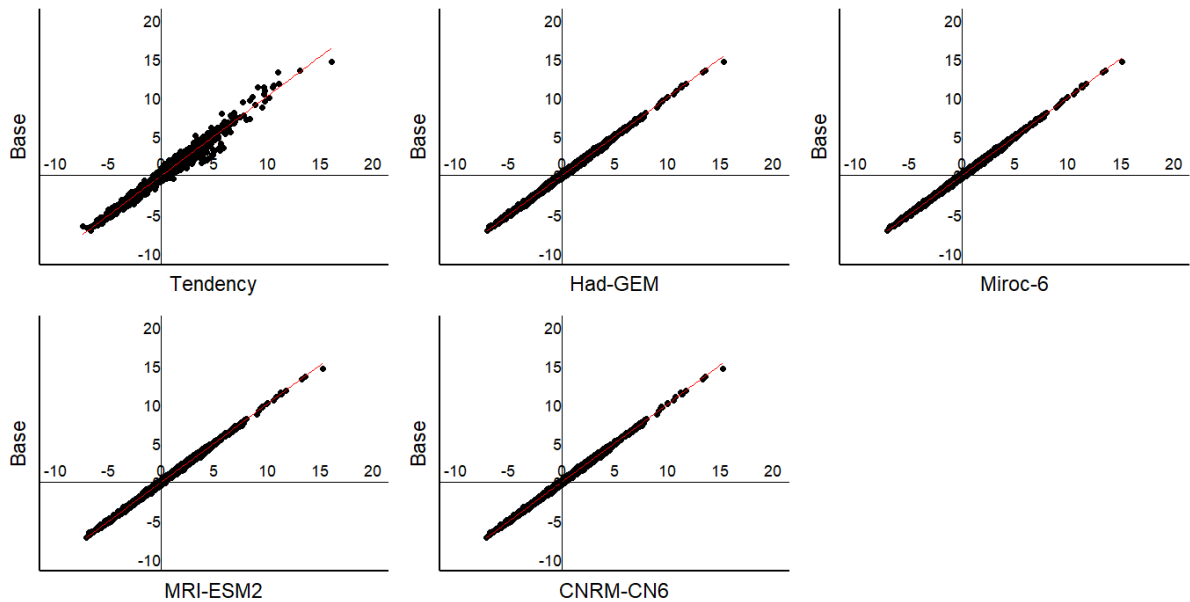


Figure 21. Comparison of trend and climate change scenarios at the municipal level.

The most significant spatial changes projected under both scenarios are observed in the southern region of the country, where the number of municipalities with the most unfavorable food security conditions would increase. Similarly, in the northwestern region of the country, the number of municipalities with "low food security" would increase. In addition, the northern region of the country shows a significant decrease in the number of municipalities in the "very high food security" category (Figure 22).

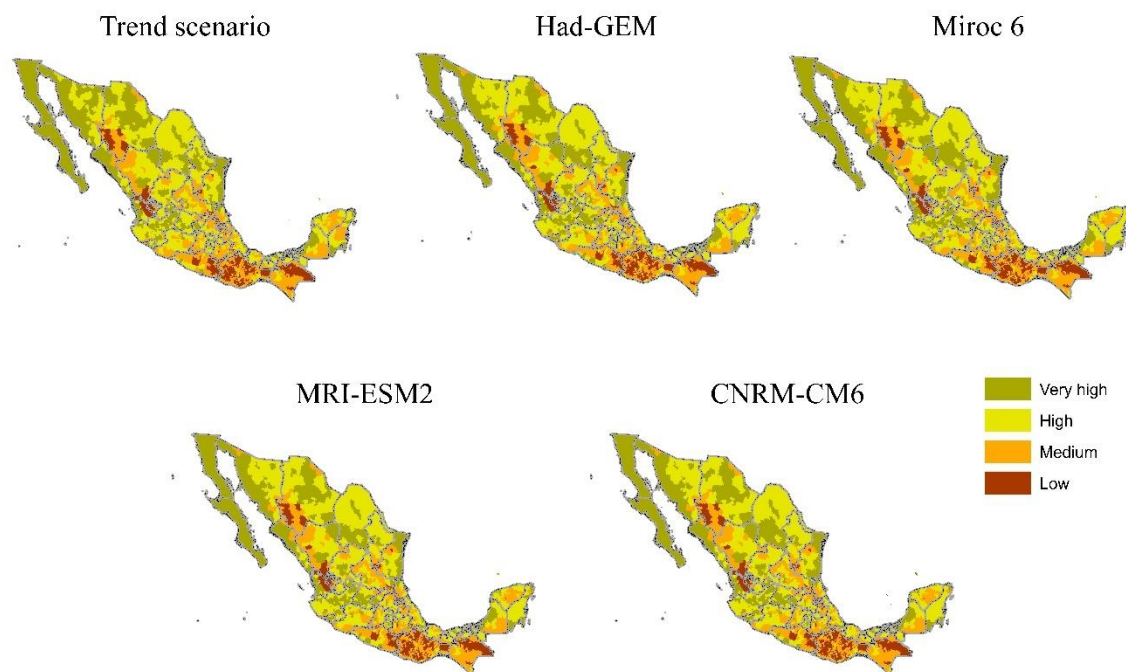


Figure 22. Spatial distribution of the food security index in municipalities of Mexico according to the scenario evaluated.

7.3.3. Vulnerable regions

Twelve regions were identified as having a risk of food insecurity (Figure 23, right). The total number of currently food-insecure municipalities is 368 and would increase to 469, implying an increase in the number of municipalities from 14.9% to 19%. In terms of location, twelve vulnerable regions are identified, four in the central-north and seven in the central-south of Mexico. The municipalities with low current food security would remain under the same conditions, and a little more than one hundred would be added under climate change conditions (specifically, the global circulation model HadGEM).

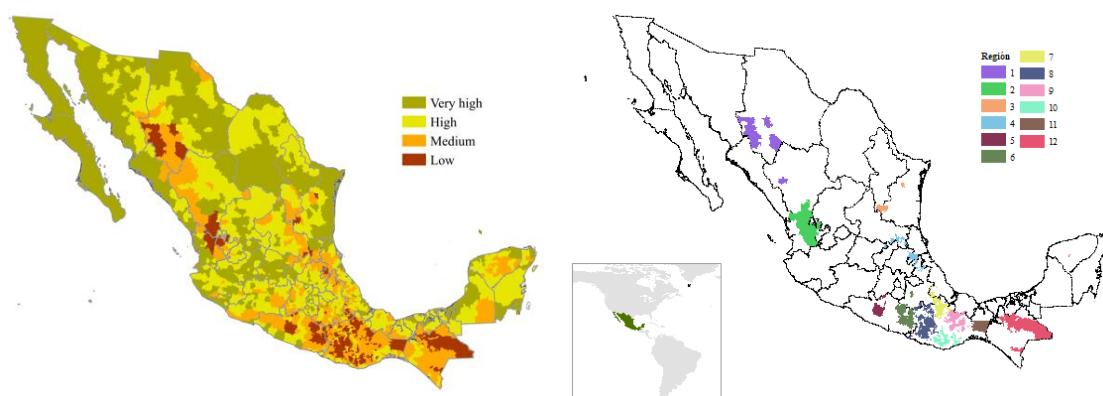


Figure 23. Food security index for municipalities (left) and regions vulnerable to food insecurity in Mexico (right).

7.4. Discussion

7.4.1. Current food security in Mexico

The results show that the lack of food security is present in 45% of the municipalities and in 15.2 million Mexicans, considering the 2020 Census of Population and Housing (INEGI, 2020). It is worth noting that 65% of these people live in rural areas. However, our results differ from the 35.5 million people with moderate or severe food insecurity reported by Monroy-Torres et al. (2021) for the same year 2020. Another study by Felix-Verduzco et al. (2018) mentions that about 42% of households were food insecure in 2014. The differences can be attributed to the origin of the used information, since the studies were conducted with measures of perceptions and experiences of hunger, mainly collected from available and local surveys. Our results, on the other hand, are based on official statistical information available at the municipal level.

Two dimensions (availability and stability) show relatively positive and stable behaviors, while the other two dimensions (access and utilization) are the ones that mostly explain food insecurity in Mexico. In other words, food production and availability were not found to be the fundamental cause of food insecurity in the country, similar to what was found by Cruz-Sánchez et al. (2024). According to the results of the agricultural census (INEGI, 2022) in Mexico, 29.8 million

hectares were dedicated to agricultural use and 57.3 million to pasture. 34.6 million tons of the main cereals produced in the country were obtained.

The stability dimension, measured over a 20-year period, also indicates that food production conditions have remained relatively constant in most municipalities. The results are similar to those found by Aguilar-Estrada et al. (2019). Therefore, it is suggested that the problem of food security in the country is mainly related to both physical and economic access to food and the ability to use food.

In terms of the availability and stability of food production, agricultural and livestock production were found to be below the national average in only 9% and 6% of municipalities, respectively. In these communities, lower food production directly contributes to food insecurity. The supply of food through outlets such as shops, supermarkets, “*tianguis*”, markets and central supply centers suggests that it is possible to meet the needs of the population. In fact, Leyva Trinidad & Pérez Vázquez (2015) found that 70% of the food consumed in Mexican households comes from: grocery stores (25%), specific brand stores (22%), supermarkets (14%) and open markets (9%). In the case of fresh food, the majority is found in the central supply centers, where 95% of the products in the basic food basket are available. This concentration of markets tends to become more urban (Monroy-Torres et al., 2021).

In terms of access to and use of food, the problems of low accessibility (lack of paved roads), location of production away from population centers, availability of public transportation, and travel time to large localities (more than 15,000 inhabitants), which are considered food concentration and distribution centers, stand out (CONEVAL, 2021). Another important factor is the distance between production and distribution centers and the infrastructure available to carry out domestic agrifood trade (Monroy-Torres et al., 2021). This leads to food supply problems and even an increase in the selling price of food.

In terms of food utilization capacity, there are municipalities where the employed population is reported to be low, around 25%. This translates into low salaries, as

in some places just over 16% of the people exceed the limit of two minimum monthly salaries. In the agricultural workforce, 53.8% do not receive a salary and 30% of producers work directly in their production units (INEGI, 2022). According to the 2019 Human Development Report of the United Nations Development Program (UNDP), 17.6% of the Mexican population lived below the national food poverty line (Monroy-Torres et al., 2021). Health problems are evident in affected communities, where 21% of the adult population suffers from obesity. Ponce-Alcalá et al. (2021) found that the prevalence of obesity and abdominal obesity was highest among those experiencing severe household food insecurity.

In indigenous-majority regions, severe food insecurity persists, especially in municipalities with high levels of marginalization, as was found by González-Martell et al. (2022). In some communities, the trend information showed virtually no or very little change over the 20-year period analyzed (see SM5). These communities will face a greater challenge, as they will have to make more efforts to break the trend, in addition to coping with the impacts of climate change. Without immediate action, the number of food insecure communities in the country may increase in the future.

7.4.2. Future food security

The results indicate that if the observed trend over the next 50 years continues (trend scenario), food insecurity in the country would increase from 45% to 52% of affected Mexican municipalities (an increase of 7%). Under climate change scenarios, food insecurity could reach 51% of affected municipalities (a 6% increase). In other words, it is necessary more than reverting the trend to address the country's future food security problems. In addition, climate change projections should be taken into account in the area of food security.

Climate change is associated with changes in temperature, precipitation patterns, and the number of extreme weather events (droughts and floods) that reduce harvested area and crop yields. For Mexico, a significant decrease in precipitation (10% to 20%) and an increase in temperature (1°C to 2°C) are expected by the end of the period 2015-2039 (SEMARNAT & INECC, 2018). A 2°C increase in

global temperature will have devastating impacts, the cost of which would be significantly higher than implementing early mitigation and adaptation measures (IPCC, 2022).

Projected climate changes may have multiple and cascading impacts (IPCC, 2022) on territories. In particular, significant changes in the suitability of land for crop production are expected (López-Blanco et al., 2018) (López-Blanco J., Pérez-Damián JL., Conde-Alvarez C., Gómez-Díaz JD., 2018). Several studies in the country have shown a decrease in yields of maize, rice, sorghum, soybean, wheat, and sugarcane (Arce-Romero et al., 2020; Cruz Delgado et al., 2012; Delgadillo-Ruiz et al., 2016; Murray-Tortarolo et al., 2018; Ureta et al., 2020). This situation could have serious consequences for food availability and the agricultural economy of the country (Cruz Hernández et al., 2021; Ulises et al., 2022). The relationship is directly related to food availability and access, especially in regions already facing food insecurity (Nava-Amante et al., 2021).

Climate change predicts an increase of 469 communities in the most severe category of food insecurity. Considering population projections (United Nations (2024) for the year 2100, this would mean 3.8 million more people in these municipalities. Thus, in the country, regions with lower food security face greater challenges due to climate change. These regions have been identified as vulnerable zones.

7.4.3. Vulnerable zones

The country's food insecurity problems will worsen with the manifestation of climate change, although unevenly across Mexico. Considering only the low food security category, the change would be from 15% to 19% of the country's municipalities in this category, compared to the baseline scenario. Considering the permanence of the low food security regions and adding the municipalities that would be added due to the impact of climate change, 12 regions were identified as the most vulnerable to food insecurity. Four are located in the central-northern part of the country, while seven are in the central-southern zone (Figure 4).

The most affected regions in the south of the country are located in municipalities belonging to the states of Guerrero, Oaxaca and Chiapas. The northern regions are located in the states of Chihuahua and Durango, especially in mountainous areas. The twelve regions identified in this study are similar to those identified by other authors such as (Ibarrarán et al., 2010) or even by the federal government (INECC, n.d.).

The northern part of Mexico has relatively better food security conditions, although it is not free of food challenges. The differences with the south-central part of the country may be due to the differentiation that has existed for many years in national agricultural policy. For example, Díaz et al. (2019) found that agricultural policies were directed only to where demand was manifested, or even to meet political commitments, without taking into account the demands of producers. Also, some federal government programs, such as the Commercialization and Alliance for the Land programs, were more oriented towards the northern states of the country (Robles, 2017). The former program of direct support to the field (PROCAMPO) was created to compensate for the adverse effects of the North American Free Trade Agreement (NAFTA); however, some studies have concluded that the distribution of its resources has predominantly favored larger producers and those with irrigation technology (Mexico's northern states: Sinaloa, Tamaulipas, Sonora, Jalisco and Chihuahua) (Maldonado-Méndez et al., 2022; Robles, 2013). Perhaps because of the above, and in terms of resilience, it has been found that the states with the greatest resilience to climate change are in the north of the country, including Jalisco, Sinaloa, Tamaulipas, Nuevo León, State of Mexico, Quintana Roo and Sonora.

Regions vulnerable to food insecurity face new environmental challenges. For example, in 2024, the maximum temperature in virtually the entire country will exceed historical records. In the north, the lack of rainfall affects just over one million hectares of rainfed crops annually, and this area is expected to increase due to climate change (Escalante-Sandoval, 2020). These adverse conditions could lead to greater food insecurity, increasing rates of malnutrition and

exacerbating health problems such as obesity and related diseases. The decline in food production in these twelve regions will further impede the ability of their populations to adapt to and mitigate the effects of climate change.

Mexico faces significant food security challenges, largely due to population growth, scarcity of arable land, water resource constraints (Negrete, 2018), as well as economic capacity for food access. Failure to adequately address these will have direct consequences, such as higher levels of food insecurity among female-headed households, lack of safe food for low-income consumers, and a significant portion of the supply chain without the required certifications (Aguilar-Estrada et al., 2019). In addition, factors such as the high cost of staple foods, poor diet quality, and lack of dietary diversity and nutrition contribute to food insecurity, which affects a significant portion of the Mexican population (Antonio Sánchez et al., 2023; González-Martell et al., 2022). This underscores the need for specific adaptation policies and measures for food-insecure regions to improve resilience and ensure adequate access to food for the most disadvantaged communities.

In recent years, the federal government has tried to reverse the previous agricultural policy, the "Production for Welfare" program is operating since 2018 to serve small and medium-sized producers. It is still early to evaluate the success of the program, so it needs to be analyzed and evaluated with clear indicators of change and improvement in the national field. While this is happening, we believe that the following can help improve food security in the country: 1) Develop a system to monitor climatic, agricultural and socio-economic indicators directly related to food access; 2) Increase food production and diversification through sustainable practices such as multifunctional agriculture in vulnerable regions, mainly through access to agricultural credit and the development of programs focused on strengthening the primary sector; 3) Facilitate the creation of cooperatives and producer associations to strengthen local supply chains; 4) Support the development of agricultural trade in these regions so that products derived from primary activities can be marketed in these

same regions. This would ensure better food prices and greater affordability for the population. 5) Improve in-country food supply systems (local markets or centralized supply centers) to promote access to fresh food and thus consumption of healthier diets. 6) Promote agricultural practices that are resilient to the changing and future climate. 7) Promote technical training programs that encourage improved food production and the development of market chains that seek to improve the economic level of producers. 8) Invest in road and transportation infrastructure to improve access to markets and food distribution centers. 9) Ensure the availability of basic services such as health, sanitation, and drinking water in these areas. 10) Implement nutrition education programs to promote healthy and diverse diets.

7.5. Conclusions

We developed a food security index that was projected with a trend and climate change scenarios for Mexico. The use of public information available at the municipal level facilitated the design and application of the index. Based on numerous studies, forty-eight variables were identified that come close to quantifying the complexity of food security. The trend and climate change scenarios made it possible to identify critical factors and project the future evolution of food security, providing solid and robust numerical and cartographic results. The objective of the work was achieved, although there are local challenges that the index cannot identify. Of all the used variables, we believe that the food security problems in Mexico are mainly due to the lack of physical and economic access to food, as well as the inability of the inhabitants of the country to use it. The country produces abundant and sufficient food, such as vegetables, grains, cereals, meat, etc., but the economic conditions of the population and the infrastructure of the communities are the challenges to overcome in the search for food security for the people. Therefore, it is important to design specific policies and measures to guarantee access to healthy food in the most vulnerable regions. New research can be oriented towards the regional and local study of food security. We believe that this study contributes to the understanding of the food

security challenges faced by countries and regions of the world. It proposes a list of indicators and variables that other studies can replicate and adapt to their own conditions for food security studies. It also contributes with specialized cartography on the subject to guide spatially targeted recommendations at regional and national levels. The global challenges of providing healthy and nutritious food to the entire population require the exploration of methods that facilitate communication between policy, science, and spatial analysis.

Acknowledgements:

This research is part of YCS's doctoral dissertation at the Universidad Autónoma Chapingo in Mexico. We thank to National Council for the Humanities, Sciences and Technologies (CONAHCYT), Universidad Autónoma Chapingo, DGIP, Departamento de Fitotécnia, as well as the Doctoral Program in Multifunctional Agriculture. We gratefully acknowledge the comments and suggestions of anonymous reviewers, whose comments have substantially improved the paper.

Declarations:

Conflicts of interest: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have influenced the work reported in this article.

Authorship contribution statement: Authors YCS and AIMR conceptualized the study and did the first write-up. Author YCS designed the data collection tools and most of the analysis. Authors AAE and JBM contributed to the review and overall supervision of the research. All the authors read and approved the final manuscript.

Funding: This research received no external funding. YCS received a scholarship from the National Council of Science and Technology (CONAHCYT). The APC was funded by DGIP program by Universidad Autónoma Chapingo.

Availability of data and materials: The first author will provide data upon reasonable request.

7.6. References

- Abucheos, D. D. (2014). Bartlett's test. Wiley StatsRef: statistics reference. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat05822>
- Aguilar-Estrada, A. E., Caamal-Cauich, I., Barrios-Puente, G., & Ortiz-Rosales, M. Á. (2019). ¿Hambre en México? Una alternativa metodológica para medir seguridad

alimentaria. Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y
Desarrollo Regional, 29(53).
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.625>

Ahmed, A., Elbushra, A., & Elrasheed, M. (2023). Implications of climate change on agriculture and food security. In Adel A. Abul-Soad, Jameel M. Al-Khayri. Cultivation for climate change resilience (p. 26).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780429055584>

Arce-Romero, A. R., Monterroso-Rivas, A. I., Gómez-Díaz, J. D., Palacios-Mendoza, M. A., Navarro-Salas, E. N., López-Blanco, J., & Conde-Álvarez, A. C. (2020). Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera*, 33(3), 215–231. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/ATM.52430>

Camberos Castro, M. (2000). La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *Ciencia Ergo Sum*, 7(1), 49–55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401706>

Challenger-Pérez, I., Díaz-Ricardo, Y., & Becerra-García, R. A. (2014). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín*, XX(2), 1-13.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181531232001>

CONEVAL. (2021). Grado de accesibilidad a carretera pavimentada (GACP) 2020 (p. 29).
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5544244&fecha=20/11/2018&print=true

Costales, J., Jones Catulay, J. J., Costales, J., & Bermudez, N. (2022). Kaiser-Meyer-Olkin factor analysis: a quantitative approach on mobile gaming addiction using random forest classifier, 18–24.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1145/3546157.3546161>

Cruz Delgado, D., Leos Rodríguez, J. A., & Altamirano Cárdenas, J. R. (2012). La evolución del patrón de cultivos de México en el marco de la integración económica, 1980 a 2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5), 893–906.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000500005&lng=es&tlng=es.

Cruz Hernández, S., Torres Carral, G. A., Salcedo Baca, I., & Cruz León, A. (2021). Percepción social del cambio climático y su relación con la seguridad alimentaria. *Desarrollo, Economía y Sociedad*, 10(1), 7–25.
<https://doi.org/10.38017/23228040.748>

Dalenius, T., & Jr, J. L. H. (1959). Minimum variance stratification. *Journal of the American Statistical Association*, 54(285), 88–101.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1959.10501501>

de Pee, S., & Pérez-Escamilla, R. (2023). Food security. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition (Fourth Edition)* (Fourth Edi, pp. 306–315). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00067-6>

- Delgadillo-Ruiz, O., Ramírez-Moreno, P. P., Leos-Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., & Valdez-Cepeda, R. D. (2016). Pronósticos y series de tiempo de rendimientos de granos básicos en México. *Acta Universitaria*, 26(3), 23–32. <https://doi.org/10.15174/au.2016.882>
- Díaz-Carreño, M. Á., Sánchez-Cándido, L. V., & Herrera Rendón-Nebel, M. T. (2019). La inseguridad alimentaria severa en los estados de México: Un análisis a partir del enfoque de las capacidades 2008-2014. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53), 24. [https://doi.org/DOL: https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.684](https://doi.org/DOL:https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.684)
- Díaz-Carreño, M. Á., Sánchez-León, M., & Díaz-Bustamente, A. (2016). Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus principales determinantes. *Economía, Sociedad y Territorio*, 16, 459–483. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212016000200459&nrm=iso
- Díaz Espinosa, A.G.; Aguilar Gallegos, N.; Santoyo Cortés, V.H.; Muñoz Rodríguez, M.; Altamirano Cárdenas, J.R. (2019). Restricciones para orientar a resultados los programas de desarrollo rural en México. *ASYD* (16) 199–218 <http://doi.org/10.22231/asyd.v16i2.1007>
- El Mokhtar, M. A., Anli, M., Ben Laouane, R. Boutasknit, A., Boutaj, H., Draoui, A., Zarik, L., & Fakhech, A. (2019). Food Security and Climate Change. In *Handbook of Research on Global Environmental Changes and Human Health* (pp. 53–73). <https://doi.org/https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7775-1.ch004>
- Elhaik, E. (2022). Principal Component Analyses (PCA)-based findings in population genetic studies are highly biased and must be reevaluated. *Scientific Reports*, 12(1), 14683. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14395-4>
- Escalante-Sandoval, C. (2020). Expected impacts on agriculture due to climate change in northern Mexico BT - *Water Resources of Mexico* (J. A. Raynal-Villasenor (ed.); pp. 197–217). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40686-8_11
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2023). Entender la oferta largo del continuo alimentos a lo y la demanda de rural-urbano mensajes. In *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. Urbanización, transformación de los sistemas agroalimentarios y dietas saludables a lo largo del continuo rural-urbano* (p. 337). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc3017es Las>
- FAO, FIDA, & PMA. (2015). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos. Roma, FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8ad9a4f5-ff02-4591-9523-2778c8201fc9/content>
- Félix-Verduzco, G., Aboites Manrique, G., & Castro Lugo, D. (2018). La seguridad alimentaria y su relación con la suficiencia e incertidumbre del ingreso: un análisis

de las percepciones del hogar. *Acta Universitaria*, 28, 74–86.
<https://doi.org/10.15174/au.2018.1757>

Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., Figueroa, D., & Jiménez, A. D. (2021). Is rural food security primarily associated with smallholder agriculture or with commercial agriculture?: An approach to the case of Mexico using structural equation modeling. *Agricultural Systems*, 190, 103091.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103091>

Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., & Monsivais-Huertero, A. (2018). Assessing food security and environmental protection in Mexico with a GIS-based Food Environmental Efficiency index. *Land Use Policy*, 76, 442–454.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.022>

González-Martell, A. D., Sánchez-Quintanilla, E. E., García-Aguilar, N., Contreras-Hernández, T., & Cilia-López, V. G. (2022). Vulnerability for food insecurity: Experiences of indigenous families in the Huasteca Potosina region, Mexico. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), 14. <https://doi.org/10.2307/40184061>

Ibarrarán, M. E., Malone, E. L., & Brenkert, A. L. (2010). Climate change vulnerability and resilience: current status and trends for Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 12(3), 365–388. <https://doi.org/10.1007/s10668-009-9201-8>

INECC. (s.f.). Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/index.html#zoom=7&lat=17.1661&lon=-96.2105&layers=1>

INEGI. (2010). Nota técnica: Estratificación univariada. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf](https://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf)

INEGI. (2020). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

INEGI. (2022). Censo agropecuario (CA) 2022. Subsistema de información económica. https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/#datos_abiertos

Islam, M. S., & Kieu, E. (2021). Climate change and food (in)security nexus. *Climate Change and Food Security in Asia Pacific International Political Economy Series*, p. 17-41. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70753-8_2

Ivanov, S., & Yudina, S. (2023). Ensuring national food security. *Economic Bulletin of the Dniprovsk State Technical University*, 2(2(5)), 7–15.
[https://doi.org/10.31319/2709-2879.2022iss2\(5\).270417pp7-15](https://doi.org/10.31319/2709-2879.2022iss2(5).270417pp7-15)

IPCC. (2022): Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge

University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

- Khan, M. S., & Rahman, M. S. (2021). Introduction on techniques to measure food safety and quality. In M. S. Khan & M. Shafiur Rahman (Eds.), *techniques to measure food safety and quality: microbial, chemical, and sensory* (pp. 1–10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68636-9_1
- Leyva Trinidad, D. A., & Pérez Vázquez, A. (2015). Pérdida de las raíces culinarias por la transformación en la cultura alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 867–881. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400016&lng=es&tlng=es.
- Li, H. (2022). *Numerical methods using java: for data science, analysis, and engineering*. Apress Berkeley, CA, XIV, 1186. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6797-4>
- Liu, W., Chen, Y., He, X., Mao, P., & Tian, H. (2021). Is current research on how climate change impacts global food security really objective?. *Foods*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/foods10102342>
- López-Blanco J., Pérez-Damián JL., Conde-Alvarez C., Gómez-Díaz JD., & Monterroso-Rivas. A.I. (2018). Land suitability levels for rainfed maize under current conditions and climate change projections in Mexico. *Outlook on Agriculture*, 47(3), 181–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F0030727018794973>
- Maldonado-Méndez, M. de L., Romo-Lozano, J. L., Baca del Moral, J., & Monterroso-Rivas, A. I. (2022). Multidimensional typology of mexican farmers in the context of climate change. *Agriculture (Switzerland)*, 12(8), 1–18. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081079>
- Malpica Zárate, A. H., & Miranda Zambrano, G. A. (2016). Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 71–82. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000100071&lng=es&tlng=es.
- Marukatat, S. (2023). Tutorial on PCA and approximate PCA and approximate kernel PCA. *Artificial Intelligence Review*, 56(6), 5445–5477. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10297-z>
- Mayett-Moreno, Y., & Oglesby, J. M. L. (2018). Beyond food security: Challenges in food safety policies and governance along a heterogeneous agri-food chain and its effects on health measures and sustainable development in Mexico. *Sustainability*, 10(12), 4755. <https://doi.org/10.3390/su10124755>
- Melgar-Quiñonez, H., Uribe, M. C. A., Centeno, Z. Y. F., Bermúdez, O., Fulladolsa, P. P. de, Fulladolsa, A., Parás, P., & Perez- Escamilla, R. (2010). Características psicométricas de la escala de seguridad alimentaria ELCSA aplicada en Colombia, Guatemala y México. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 17(1), 48. <https://doi.org/10.20396/san.v17i1.8634799>

- Monroy-Torres, R., Castillo-Chávez, Á., Carcaño-Valencia, E., Hernández-Luna, M., Caldera-Ortega, A., Serafín-Muñoz, A., Linares-Segovia, B., Medina-Jiménez, K., Jiménez-Garza, O., Méndez-Pérez, M., & López-Briones, S. (2021). Food security, environmental health, and the economy in Mexico: lessons learned with the COVID-19. *Sustainability*, 13(13), 7470. <https://doi.org/10.3390/su13137470>
- Monterroso-Rivas, A., & Gómez-Díaz, J. D. (2020). Vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria por cambio climático. In *Seguridad hídrica y alimentaria. Problemas globales, acciones locales*. 1era ed., pp. 167-178. 193. 10.38202/seguridadhidricayalimentaria.chapingo.2023.
- Mundo-Rosas, V., Unar-Munguía, M., Hernández-F, M., Pérez-Escamilla, R., & Shamah-Levy, T. (2019). La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México: una mirada desde el acceso, la disponibilidad y el consumo. *Salud Pública de México*, 61(6), 866–875. <https://doi.org/10.21149/10579>
- Murray-Tortarolo, G. N., Jaramillo, V. J., & Larsen, J. (2018). Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253–254, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.011>
- Nava-Amante, P. A., Betancourt-Núñez, A., Vizmanos, B., Salas-García, M. A., Bernal-Orozco, M. F., Vargas-García, E. J., & Díaz-López, A. (2021). Prevalence and risk factors of food insecurity among Mexican university students' households. *Nutrients*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/nu13103426>
- Negrete JC (2018) Artificial Vision in Mexican Agriculture for Identification of diseases, pests and invasive plants. *J Advan Plant Sci* 1: 303. https://www.researchgate.net/publication/328779201_Artificial_Vision_in_Mexican_Agriculture_for_Identification_of_Diseases_Pests_and_Invasive_Plants
- Omarov, R., Agarkov, A., Rastovarov, E., & Shlykov, S. (2017). Modern methods for food safety. *Engineering for Rural Development*, 16, 960–963. <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N195>
- Ponce-Alcalá, R., Ramírez-García Luna, J., Shamah-Levy, T., & Melgar-Quíñonez, H. (2021). La asociación entre inseguridad alimentaria en los hogares y obesidad en México: un estudio transversal de ENSANUT MC 2016. *Nutrición En Salud Pública*, 24(17), 5826–5836. <https://doi.org/10.1017/S1368980021003153>
- Robles Berlanga, H.M. (2017). Los efectos del presupuesto en el sector rural; subsidios al campo: Mexico City, Mexico. p. 48. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://fundar.org.mx/mexico/pdf/Efectos.pdf>
- Robles Berlanga, H.M. (2013). Ejercicio del presupuesto de SAGARPA por programa y entidad federativa; subsidios al campo: Mexico City, Mexico, 2013; ISBN 978-607-7631-17-0.
- Saint Ville, A., Po, J. Y. T., Sen, A., Bui, A., & Melgar-Quíñonez, H. (2019). Food security and the food insecurity experience scale (FIES): ensuring progress by 2030. *Food Security*, 11(3), 483–491. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00936-9>

- SEMARNAT, & INECC. (2018). México. Sexta comunicación nacional y segundo informe bienal de actualización ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., Flores-De la Vega, M. M., & Luiselli-Fernández, C. (2017). Food security governance in Mexico: How can it be improved? *Global Food Security*, 14, 73–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.05.004>
- Shamah-Levy, T., Mundo-Rosas, V., & Rivera-Dommarco, J. A. (2014). Magnitude of food insecurity in Mexico: Its relationship with nutritional status and socioeconomic factors. *Salud Publica de Mexico*, 56(SUPPL.1), 79–85. <https://doi.org/10.21149/spm.v56s1.5169>
- Soria Sánchez, G., & Palacio Muñoz, V. H. (2014). El escenario actual de la alimentación en México. *Textos & Contextos (Porto Alegre)*, 13(1), 128. <https://doi.org/10.15448/1677-9509.2014.1.16223>
- Torres-Lima, P., Conway-Gómez, K., & Torres-Vega, P. (2022). Agriculture-food nexus. the paradox of sustainable development in Mexico. In W. Leal Filho, M. Kovaleva, & E. Popkova (Eds.), *Sustainable Agriculture and Food Security* (pp. 17–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9_2
- Torres-Torres, F., & Rojas-Martínez, A. (2019). La situación regional y las escalas de la seguridad alimentaria en México. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 12, 51–93. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistalegislativadeestudiossocialesydeopinionpublica/2019/vol12/no25/2.pdf>
- Torres, F., & Rojas, A. (2020). Seguridad alimentaria y sus desequilibrios regionales en México. *Problemas Del Desarrollo*, 51(201), 57–83. <https://doi.org/10.22201/IIEC.20078951E.2020.201.69521>
- Ulises, R. S. H., Lucia, F. M. A., Delia, O. B. A., & Odila, D. la T. V. (2022). The agricultural sector and climate change in Mexico. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 23(3), 19–44. <https://doi.org/10.9734/jaeri/2022/v23i330222>
- United Nations. (2024). World population prospects 2022. department of economic and social affairs population division. <https://population.un.org/wpp/Download/>
- Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., & Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Publica de Mexico*, 56(SUPPL.1), S92–S98. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903842306&partnerID=40&md5=43345faa4b32c7da99a210ffb9f33c4c>

- Uyeh, D. D., Shin, W., Ha, Y., & Park, T. (2020). Chapter 11 - Food safety applications. In J.-Y. Yoon (Ed.), *Smartphone Based Medical Diagnostics* (pp. 209–232). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817044-1.00011-9>
- Vytvytska, O., & Kovalova, O. (2022). Analytical assurance of food safety: a retrospective analysis. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 7(3), 101–106. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2022-3-14>
- Zárate Guevara, G. S., Méndez Espinoza, J. A., Ramírez Juárez, J., & Olvera Hernández, J. I. (2016). Análisis de la seguridad alimentaria en los hogares el municipio de Xochiapulco Puebla, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 25, 67–85. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41744004003>

CONCLUSIONES GENERALES

En esta investigación se evaluó la vulnerabilidad que el cambio climático representa para la seguridad alimentaria futura en México, a través de un análisis detallado de las tendencias espaciales. Los resultados obtenidos permitieron dimensionar las regiones más vulnerables del país y proporcionaron información valiosa para el diseño de políticas y estrategias de mitigación.

Se puede afirmar que el objetivo principal de esta investigación se ha cumplido satisfactoriamente.

Con relación a los objetivos particulares, 1) se logró identificar un conjunto de variables clave. Esto permitió establecer una base sólida para medir las dimensiones de la seguridad alimentaria en México, cumpliendo con el objetivo planteado. 2) Se midieron las dimensiones de disponibilidad, acceso físico y económico, uso y estabilidad de los alimentos a escala municipal. Este análisis permitió dimensionar la gravedad del problema actual en diferentes municipios, cumpliendo con el objetivo planteado. 3) Mediante escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas, se analizó la vulnerabilidad y el riesgo del cambio climático en la seguridad alimentaria para los municipios de México. Los resultados mostraron un impacto futuro significativo sobre la seguridad alimentaria, cumpliendo con el objetivo planteado. 4) Se identificaron las regiones más vulnerables a la inseguridad alimentaria mediante el análisis estadístico espacial. Esta información es crucial para el diseño de políticas y estrategias dirigidas a fortalecer la resiliencia del sistema alimentario mexicano, cumpliendo con el objetivo planteado.

Derivado de la investigación de tesis se pudieron destacar siete conclusiones generales:

“90% de los municipios no enfrenta problemas significativos en la disponibilidad de alimentos”.

La disponibilidad de alimentos en el país es suficiente para cubrir la demanda de su población. Esto gracias a que se cuenta con condiciones ambientales y sociales adecuadas para la producción, además de una red suficiente de puntos de venta. Señala que incluso en los municipios donde no se produce alimentos, éstos siguen estando disponibles. El acceso a los alimentos se facilita a través de tiendas de abarrotes, supermercados y tianguis, que son comunes en todo el país (ver capítulo 4).

“34.4% de los municipios presenta bajo acceso físico, mientras que 40.6% muestra un acceso económico medio”.

La seguridad alimentaria en México no depende únicamente de la provisión de alimentos. Además de la producción alimentaria, es crucial considerar la interacción entre los canales de distribución y la oferta en distintos puntos de venta. Debido a la falta de infraestructura y servicios, además de la desigualdad en la distribución de los ingresos, se presentan mayores niveles de inseguridad alimentaria (ver capítulo 5).

“En cuanto al uso que las personas hacen de los alimentos se detectaron problemas en el 40% de los municipios”.

La forma en que la población consume los alimentos es un factor importante en la seguridad alimentaria. En el país se reflejan problemas principalmente debido a la carencia de servicios básicos, baja diversidad de dietas y problemas de salud relacionados. Los mismos que son evidentes en los municipios afectados, donde el 21% de su población adulta padece obesidad.

“28% de los municipios han visto una reducción en su estabilidad alimentaria entre los años 2000 y 2021”.

Los resultados mostraron preocupantes tendencias en la estabilidad ambiental, con un aumento en la intensidad de sequías y temperaturas. Aunque la estabilidad económica y de precios se mantiene mayormente estable, un

pequeño porcentaje de municipios experimenta disminuciones significativas (ver capítulo 6).

“45% de los municipios, es decir, 1117 municipios, han enfrentado problemas de seguridad alimentaria en el año 2020”.

La integración de estos hallazgos revela una imagen compleja de la seguridad alimentaria en México. Aunque la disponibilidad de alimentos no es un problema en la mayoría de los municipios, factores como el acceso y el uso siguen siendo desafíos importantes. Es esencial adoptar enfoques multifuncionales en la agricultura y formular políticas públicas que consideren todas las dimensiones de la seguridad alimentaria para mitigar estos riesgos y garantizar un acceso equitativo a alimentos saludables para toda la población (ver capítulo 7).

“Las proyecciones con cambio climático sugieren un aumento de la inseguridad alimentaria del 6% al 7% en los municipios”.

Esto podría deberse principalmente a la disminución en rendimientos de maíz, arroz, sorgo, soja, trigo y caña de azúcar que implicaría consecuencias graves para la disponibilidad de alimentos. La diversificación de cultivos y prácticas agrícolas reduce la dependencia de un solo tipo de producción, disminuyendo el riesgo de pérdidas totales ante plagas, enfermedades o condiciones climáticas adversas. Esto garantiza una disponibilidad más estable de alimentos variados y nutritivos para la población (ver capítulo 7).

“La seguridad alimentaria se fortalece mediante la agricultura multifuncional, que promueve un sistema agroalimentario más sostenible al contribuir a la mitigación del cambio climático”.

Este enfoque integral reconoce y valora la agricultura y sus múltiples funciones de las prácticas agrícolas, como la conservación de recursos naturales, el mantenimiento de la biodiversidad, la promoción del desarrollo rural y la mitigación del cambio climático. La diversificación de la producción agrícola es vital para mejorar la resiliencia ante los cambios climáticos. El estudio de la

accesibilidad subraya la necesidad de políticas que apoyen a los pequeños productores (ver capítulo 7).

Estas conclusiones no solo contribuyen al conocimiento académico, sino que también tienen importantes implicaciones prácticas y políticas. Los resultados pueden orientar el diseño de políticas agrícolas más sostenibles y resilientes, así como estrategias de desarrollo rural que promuevan la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.

No obstante, es importante reconocer las limitaciones de este estudio, como la disponibilidad de datos y las restricciones metodológicas, lo que sugiere la necesidad de investigaciones futuras que aborden estos desafíos y profundicen en los aspectos no cubiertos por esta tesis. Por ejemplo, el monitoreo constante de la seguridad alimentaria mediante la actualización de datos recientes es crucial. Otro factor que no fue posible considerar fue la estabilidad política y la violencia, ya que no hay datos a nivel estatal o municipal, aunque informes periodísticos señalan un incremento de la violencia en gran parte del país.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para avanzar en la comprensión de la seguridad alimentaria en México y permitieron la aceptación o rechazo de las Hipótesis planteadas en la investigación.

Se muestran a continuación:

Hipótesis general: La evaluación de las tendencias espaciales indicará que el sur de México es más vulnerable a la seguridad alimentaria tanto actual como futura.

- Resultado: La hipótesis se acepta. El análisis demostró que las condiciones actuales del sur del país, especialmente en términos económicos y de infraestructura, afectan negativamente la seguridad alimentaria. Además, se demostró que, en un futuro, con cambio climático, en esta región el problema se agravará.

Hipótesis i: La revisión de marcos conceptuales y enfoques metodológicos permitirá identificar un conjunto de variables clave que reflejen con precisión las dimensiones de la seguridad alimentaria en México.

- Resultado: La hipótesis se acepta. La revisión exhaustiva permitió identificar las variables clave que reflejan las dimensiones de la seguridad alimentaria en México. Sin embargo, se identificaron vacíos en las investigaciones anteriores, donde faltaba concluir con claridad la raíz del problema de la inseguridad alimentaria en México.

Hipótesis ii: Las mediciones a escala municipal revelarán contrastes significativos en diferentes zonas del país, indicando que los problemas de seguridad alimentaria en México se deben principalmente al acceso tanto físico como económico a los alimentos.

- Resultado: La hipótesis se acepta. Las mediciones a escala municipal revelaron contrastes significativos entre diferentes zonas del país, indicando que los problemas de seguridad alimentaria están principalmente relacionados con el acceso físico y económico a los alimentos. Sin embargo, los resultados también resaltaron problemas importantes en cuanto al uso que se les da a los alimentos.

Hipótesis iii: Los escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas mostrarán que los municipios con menor desarrollo socioeconómico son más vulnerables a los impactos del cambio climático, lo que resultará en un aumento de la inseguridad alimentaria futura en estas áreas.

- Resultado: La hipótesis se acepta. Los escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas demostraron que municipios ubicados al sur del país son más vulnerables a los impactos del cambio climático, aumentando la inseguridad alimentaria futura en estas áreas. Estos municipios presentan deficiencias principalmente en términos económicos y de infraestructura.

Hipótesis iv: El análisis estadístico espacial identificará regiones al sur del país que son altamente vulnerables a la seguridad alimentaria debido al cambio climático.

- Resultado: La hipótesis se acepta. El análisis estadístico espacial identificó regiones en el sur del país que son altamente vulnerables a la inseguridad alimentaria debido al cambio climático. Sin embargo, también se muestran zonas en el norte y centro del país que son igualmente vulnerables.

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD
ALIMENTARIA EN CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
MÉXICO**

CRUZ SÁNCHEZ YADHRA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DOCTORADO EN CIENCIAS EN AGRICULTURA MULTIFUNCIONAL PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

2024