



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y
Medio Ambiente en Zonas Áridas

**ADAPTACIÓN AL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
AGRICULTURA DE SECANO DEL NORTE DE DURANGO,
SITUACIÓN ACTUAL Y ESCENARIOS FUTUROS**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS
NATURALES Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS
ÁRIDAS**

Presenta:

ANDRÉS RÍOS ROMERO

Director: DR. ARMANDO LÓPEZ SANTOS
Codirector: DR. RICARDO DAVID VALDEZ CEPEDA

Bermejillo, Durango, México a junio del 2022.



ADAPTACIÓN AL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA
DE SECANO DEL NORTE DE DURANGO, SITUACIÓN ACTUAL Y
ESCENARIOS FUTUROS

Tesis realizada por el **Ing. Andrés Ríos Romero** bajo la supervisión del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

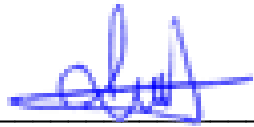
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Director:  _____

DR. ARMANDO LÓPEZ SANTOS

Codirector:  _____

DR. RICARDO DAVID VALDEZ CEPEDA

Asesor:  _____

M.C. JORGE ALEJANDRO TORRES GONZALEZ

Asesor:  _____

DR. CAYETANO NAVARRETE MOLINA

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE APENDICES.....	viii
DEDICATORIAS.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL ABSTRACT.....	xiii
CAPITULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Literatura citada	4
CAPITULO II.....	8
2 Revisión de literatura.....	8
2.1 Vulnerabilidad	8
2.1.1 Vulnerabilidad en las zonas áridas.....	8
Vulnerabilidad a las sequías	9
2.2 Exposición	10
2.2.1 Exposición en zonas áridas.....	11
2.3 Sensibilidad	11
2.4 Capacidad Adaptativa.....	11
2.4.1 Estrategias de adaptación y mitigación	12
2.4.2 Capital Social	12
2.4.3 Capital Humano.....	13
2.4.4 Capital financiero.....	13

2.4.5	Capital manufacturado	13
2.4.6	Capital natural	14
2.4.7	Lecciones de la presente pandemia.....	14
2.5	Riesgo.....	14
2.6	Emergencia.....	15
2.7	Degradación edáfica.....	15
2.7.1	Erosión hídrica	16
2.7.2	Erosión eólica.....	16
2.7.3	Degradación física.....	16
2.7.4	Degradación química	17
2.8	Literatura citada	17
CAPITULO III.....		22
3 EMERGENCIA ANTE LOS RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SOMBRA DEL COVID-19 PARA LA AGRICULTURA DE SECANO DEL NORTE DE MÉXICO		22
3.1	Resumen	22
3.2	Abstract.....	22
3.3	Introducción	23
3.4	Breve descripción de la región de estudio y la sombra del covid-19 ...	25
3.5	Materiales y Métodos.....	29
3.5.1	Exposición climática	29
	Origen de los datos	29
	Análisis de datos	29
3.5.2	Sensibilidad	31
	Datos socioeconómicos	31
3.5.3	Capacidad adaptativa.....	32
	Elaboración del instrumento de campo	32
	Aplicación del instrumento de campo.....	32

Análisis de datos	32
3.6 Resultados.....	33
3.6.1 Variables climáticas.....	33
Disponibilidad de agua.....	33
Clasificación climática	35
3.6.2 Sensibilidad	37
3.6.3 Capacidad adaptativa.....	38
Análisis de confiabilidad	38
Detonantes.....	38
Medidas de adaptación y mitigación	38
3.7 Discusión	40
3.7.1 Exposición	40
3.7.2 Sensibilidad	41
3.7.3 Capacidad Adaptativa	41
3.8 Conclusión	42
3.9 Agradecimientos	42
3.10 Literatura citada	43
CAPITULO IV	49
4 ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL RECURSO EDÁFICO EN ZONAS AGRÍCOLAS DE SECANO DEL NORTE DE DURANGO MÉXICO	49
4.1 Resumen	49
4.2 Abstract.....	49
4.3 Introducción	50
4.4 Materiales y métodos.....	51
4.4.1 Descripción del área de estudio	51
4.4.2 Evaluación del estado actual del recurso edáfico	52
Elaboración del instrumento de campo	52
Aplicación del instrumento de campo.....	55

Análisis de datos	55
4.4.3 Aptitud productiva.....	56
Selección y estandarización de variables	56
Análisis de datos	56
4.5 Resultados.....	58
4.5.1 Estado de conservación del suelo.....	58
4.5.2 Aptitud productiva.....	60
4.6 Discusión	61
4.7 Conclusiones	63
4.8 Agradecimientos	63
4.9 Literatura citada	63
5 CONCLUSIONES GENERALES	67
6 APÉNDICES	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de las variables de temperatura y precipitación de la línea base (1970-2000) contra los escenarios de cambio climático (2021 a 2040) en la zona de estudio.....	33
Cuadro 2. Comparación de variables socioeconómicas que aumentan la vulnerabilidad al impacto del cambio climático.	37
Cuadro 3. Estado actual de los diferentes capitales de los productores agrícolas de secoano del norte de Durango.....	40
Cuadro 4. Categorías, intervalos y peso de las variables utilizadas para definir la aptitud ambiental del cultivo de maíz.	57
Cuadro 5. Resultados del análisis Kappa a los indicadores utilizados y nivel de acuerdo.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Región de Estudio (RE) y principales características. a) Durango en el contexto nacional; b) Climas predominantes en la RE y municipios colindantes; y c) Grupos de suelos principales, áreas con agricultura de secano e hidrología superficial más importante	27
Figura 2. Índice de Gaussen para la línea base y los escenarios de cambio climático. Valores por debajo de “2” son considerados meses secos.....	34
Figura 3. Índice de Martonne mensual para la línea base y los escenarios de cambio climático. En valores por debajo de “20” es necesario aplicar riego al suelo para mantener la producción agrícola.....	34
Figura 4. Variación de los elementos de la clasificación de Thorthwaite para la línea base (a, d y g) el escenario canadiense con forzante de 2.6 (b, e y h) y con forzante de 8.5 (c, f e i).	36
Figura 5. Las 10 prácticas de adaptación y mitigación al cambio climático más usadas por los productores agrícolas del área de estudio.....	39
Figura 6. Localización del área de estudio (a), colindancias y polígonos de agricultura de secano (b) y subtipos de clima presentes (c).	52
Figura 7. Comportamiento histórico de la superficie total de secano y la superficie de maíz de secano para el área de estudio.	60
Figura 8. Clasificación de la aptitud productiva para maíz en las zonas de agricultura de secano en área de estudio.	61
Figura 9. Evidencia de erosión hídrica formación de cárcavas fuera de la parcela	75
Figura 10. Evidencia de erosión hídrica formación de cárcavas dentro de la parcela	75
Figura 11. Evidencia de erosión hídrica arrastre de partículas por corriente de agua.....	75
Figura 12. Evidencia de erosión eólica laminar	75

Figura 13. Evidencia de erosión eólica arrastre de partículas en suelo desnudo	76
Figura 14. Evidencia de degradación física compactación del suelo	76
Figura 15. Evidencia de degradación física desprendimiento de partículas por paso de ganado	76
Figura 16. Evidencia de medidas de conservación: surcado al contorno.....	76
Figura 17. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: cercos vivos. ..	77
Figura 18. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: cercos vivos. .	77
Figura 19. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: manejo de escorrentías	77
Figura 20. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: manejo de escorrentías	77
Figura 21. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: terrazas	78
Figura 22. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: terrazas	78

LISTA DE APENDICES

Apéndice 1) Formato de campo para encuestas a productores	68
Apéndice 2) Formato de campo para evaluar las condiciones de las parcelas agrícolas (Método Kappa).....	74
Apéndice 3) Anexos fotográficos	75

DEDICATORIAS

A mis padres:

Quienes son el pilar de mi familia porque siempre me han apoyado para seguir adelante.

A mis amigos y familiares:

Quienes siempre me han apoyado cuando más lo he necesitado y nunca me han dejado rendirme.

A la memoria de aquellos que ya no están:

Por haber depositado su confianza en mí y acompañarme en las buenas y en las malas.

A la Universidad Autónoma Chapingo:

Institución que me abrió las puertas y me permitió formarme como profesionalista.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado.

A la Universidad Autónoma Chapingo especialmente a la URUZA lugar donde me formé como profesionista.

A los Dres. Armando López Santos y Ricardo David Valdez Cepeda por guiarme y apoyarme durante todo el proyecto.

Al M.C. Jorge Alejandro Torres Gonzales y Al Dr. Cayetano Navarrete por todo su apoyo durante el proceso de investigación.

Al personal de los CADER de Nazas, Rodeo, San Luis del cordero y San pedro del Gallo por el apoyo con datos para realizar la fase de campo

A Margarito y Abel Plasencia por su apoyo durante la fase de campo del proyecto.

Al M.C. Cristóbal Hernández Bautista por las oportunidades de trabajo otorgadas.

A Gabriela González Cortina y a Israel Martínez de Jesús por todo el apoyo brindado durante el transcurso del posgrado.

A Elizabeth Rodríguez, “Liz”, por todo el apoyo brindado durante el posgrado.

A José Ángel Arroyo Romero, “Pepe”, por todo el apoyo brindado durante el posgrado.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Andrés Ríos Romero

Fecha de nacimiento: 27 de mayo de 1997.

Lugar de nacimiento: Pénjamo, Guanajuato.

CURP: RIRA970527HGTSMN07

Cédula Profesional: 12171722



Desarrollo académico

Nivel medio superior: Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, generación 2012-2015.

Licenciatura: Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, generación 2015-2019.

Datos relevantes

Participación en el XVI Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas en la modalidad de ponencia oral con el trabajo “La agricultura de secano del Norte de Durango, México bajo escenarios de cambio climático: Análisis preliminar de contrastes”.

Participación como miembro del comité asesor de la tesis de licenciatura titulada EVALUACIÓN DE INSECTICIDAS PARA EL CONTROL DE GRANA O COCHINILLA (*Dactylopius opuntiae* (Cockerell)) EN EL CULTIVO DEL NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus-indica*); documento mediante el cual el C. Antonio Marroquín Verdugo defendió y obtuvo el Título de Ingeniero en Sistemas Agroalimentarios el 21/05/2021 acto en el cual fungí como suplente del Síndico para dicho efecto.

Participación como tallerista en los cursos de Física I y Física II impartidos a los alumnos de primero y segundo grado de la preparatoria agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo durante los ciclos escolares 2020-2021 y 2021-2022.

RESUMEN GENERAL

Adaptación al impacto del cambio climático en la agricultura de secano del norte de Durango, situación actual y escenarios futuros

La actividad agrícola de secano ocupa casi el 80% de la superficie agrícola en el mundo. Esta proporción es similar en México. Sin embargo, los productores están expuestos a fenómenos adversos como las sequías en las zonas áridas porque limitan la producción primaria. Además, la falta de medidas de conservación de suelo y los efectos negativos del cambio climático limitan la producción agrícola. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue identificar las diferentes medidas implementadas por los productores para afrontar adversidades como el cambio climático y la erosión edáfica. Para ello, instrumentos de campo fueron utilizados para recabar información de los productores y caracterizar el estado de conservación de las áreas agrícolas de secano. Además, sistemas de información geográfica fueron utilizados para estimar la distribución espacial del impacto del cambio climático. Los resultados sugieren un incremento de la tasa de evapotranspiración potencial y poca atención al suelo

Palabras clave: Vulnerabilidad, exposición, erosión, potencial productivo.

Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Andrés Ríos Romero

Directores: Dr. Armando López Santos y Dr. Ricardo Valdez Cepeda

GENERAL ABSTRACT

Adaptation to climate change impact on rainfed agriculture in the north of Durango, current situation and future scenarios

Rainfed agriculture uses almost 80% of the world's agricultural area. This proportion is similar in Mexico. However, growers are exposed to adverse phenomena like droughts in the arid zones which limit primary production. In addition, the absence of soil conservation measures and the negative impacts of climate change limit agricultural production. Therefore, this work aimed to identify the different measures used by the growers to confront adversities like climatic change and soil erosion. For that, field tools were used to obtain information from growers and to characterize the conservation status of the rainfed agricultural areas. Besides, geographic information systems were used to calculate the spatial distribution of the climate change impact. Results suggest an increment of the evapotranspiration rate and low attention to the soil.

Key words: Vulnerability, exposition, erosion, productive potential.

Master of Science Thesis in Natural Resources and Environment in Arid Zones
Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Author: Andres Ríos Romero
Advisors: Dr. Armando López-Santos and Dr. Ricardo David Valdez-Cepeda

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El clima se refiere a las condiciones promedio del tiempo atmosférico de una región por un periodo de al menos 30 años. En un sentido estadístico, clima se refiere a la media y la varianza del tiempo atmosférico (IPCC, 2021). El clima de la tierra es dinámico y está sujeto a procesos de cambio continuamente, sin embargo, las actividades humanas han acelerado los cambios (Pandey & Kumar, 2019). El cambio climático se define como un cambio de la media y la variabilidad normal de las condiciones atmosféricas en una región determinada durante un periodo prolongado de tiempo, generalmente mayor a decenios (IPCC, 2021). Algunos factores naturales y antropogénicos provocan dichas fluctuaciones (Aamir et al., 2019; Pandey & Kumar, 2019). Entre los naturales se encuentran el ciclo de Milankovitch, las actividades volcánica y solar, cometas, meteoros y corrientes oceánicas, entre otros. Los antropogénicos incluyen la emisión de contaminantes por la industria hacia el ambiente, el uso de suelo para agricultura y urbanización, deforestación y el uso de clorofluorocarbonos (CFC), entre otros (Aamir et al., 2019; Bhadouria et al., 2019).

El cambio climático ha sido definido como una emergencia global (Green, 2019). Éste ha sido ampliamente debatido por investigadores, científicos y ambientalistas (Aamir et al., 2019; Pandey & Kumar, 2019). Los fallidos intentos por mitigar el cambio climático se han catalogado como un importante riesgo global. Éstos se refieren al fracaso de las organizaciones para cumplir o establecer medidas efectivas para mitigar sus efectos, proteger a las poblaciones y ayudar a adaptarse (Green, 2019; World Economic Forum, 2018).

Los efectos negativos del cambio climático se han tornado cada vez más intensos y visibles (Medeiros, 2018). El análisis de datos históricos muestra un incremento de 0.6°C de la temperatura media anual durante el siglo XX (Gowtham et al., 2018). Actualmente, esta sigue aumentando y los escenarios muestran que en 2100 podría ser entre 1.4 y 4.4 °C mayor que en el periodo base de 1850-1900. Los cambios en la temperatura normal dañarán la producción agrícola. Las estimaciones muestran que 1°C de aumento de la temperatura media anual el rendimiento disminuirá en un 17% (Aamir et al., 2019; Bhadouria et al., 2019; IPCC, 2021).

También, un aumento en la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos y adversos es previsto (Aamir et al., 2019). Entonces daños grandes por ciclones y tormentas tropicales más fuertes se vislumbran (Green, 2019). El inicio y duración de las estaciones del año podrán ser afectados de forma diferencial en cada región (Wadgyamar et al., 2019). Así, el crecimiento de las plantas y la composición de la vegetación podrán ser afectados por el cambio climático (Aamir et al., 2019).

Cambios en los regímenes de lluvia son esperados (Medeiros, 2018). En consecuencia, la agricultura de secano será fuertemente afectada. Lo anterior se podría deber a que el agua es determinante para este tipo de producción agrícola (FAO, 2014; Montiel et al., 2017; Osuna et al., 2019). La variación grande de la precipitación puede mermar la producción agrícola. Por ello, el estudio de escenarios futuros es fundamental para la toma de decisiones asertivas en estas zonas agrícolas (Olivares, 2018).

Los agricultores han tratado de responder a los efectos del cambio climático. Ellos han implementado ciertas actividades para enfrentar sequías, inundaciones, huracanes y erosión del suelo, entre otros fenómenos meteorológicos (Nicholls & Altieri, 2019; Tripathi et al., 2016). Algunas de ellas son el cambio de fechas de siembra, uso de plantas nativas y de abonos orgánicos (Orozco et al., 2019; Yohannes, 2016), uso de cajetes en camellones (Bocco et al., 2019), policultivos, obras de captación de agua e integración de sistemas agrosilvopastoriles, entre

otras (Nicholls & Altieri, 2019; Tripathi et al., 2016). Entre los beneficios de esas actividades se encuentran una mayor resiliencia al cambio climático. Lo anterior podría asociarse a un mejor manejo de agua, resistencia a erosión y mejora de las características del suelo (Bocco et al., 2019; Mayo, 2019; Nicholls & Altieri, 2019).

La sinergia con las instituciones para la transferencia de tecnología es crucial (Madrigal & Buysse, 2019). Por ejemplo, Reichhuber et al. (2019) mencionan que la gestión inteligente de las tierras en caso de sequía (GIT-S) es una opción para mitigar su efecto. Ejemplos de GIT-S son: el control de la erosión del suelo, manejo integrado de los fertilizantes y mejora en la gestión de agua y vegetación. Sus efectos pueden mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo y por ende aumentar su disponibilidad para las plantas; además las técnicas de la GIT-S se pueden aplicar a diferentes niveles, desde el local hasta el nacional. Estas técnicas comparten el mismo eje que otras como la agricultura de conservación. Sin embargo, las técnicas GIT-S, son más eficaces que las tradicionales por lo que amortiguan el efecto de la sequía en la producción de alimentos. Por ello, los agricultores se deben capacitar en estas nuevas tendencias (Reichhuber et al., 2019).

Diversos estudios sugieren la forma en que los campesinos hacen frente al cambio climático. Por ejemplo Madrigal & Buysse (2019) abordaron un estudio sobre el papel del trabajo educativo en campesinos para enfrentar el cambio climático. Éste se realizó mediante la aplicación de encuestas a familias de campesinos. Los datos muestran que el uso de acciones en respuesta al cambio climático es limitado. Madrigal & Buysse (2019) concluyen que existe una lenta aceptación de talleres de capacitación.

Asimismo Mayo (2019) estudió la forma en que las comunidades indígenas hacen frente al cambio climático; en este sentido, Mayo (2019) realizó una investigación documental sobre las técnicas que se usan en América Latina. Los resultados muestran un enfoque ancestral preponderante basado en el manejo de suelos y aprovechamiento del agua; algunos ejemplos basados en el diseño y

construcción de obras tales como: 1) camellones de desvío; 2) aprovechamiento del suelo y producción vegetal en chinampas; y 3) cosecha de agua de lluvia. Este investigador concluye que, aunque estas técnicas no fueron diseñadas para enfrentar el cambio climático, pueden ser opciones viables.

Por otro lado Ortega et al. (2018) estudiaron la percepción de los campesinos sobre el cambio climático y como le hacen frente. De igual forma, Orozco et al. (2019) estudiaron las estrategias que los agricultores usan para hacerle frente. Los resultados de ambas investigaciones muestran que existe una percepción del cambio climático por parte de los campesinos. Además, ellos han desarrollado actividades en respuesta; algunas de ellas son el cambio en los calendarios de siembra, uso de abonos orgánicos y semillas nativas y planeación para un mejor manejo del agua.

El cambio climático es una grave amenaza para la producción agrícola (López & Hernández, 2016; Shankar & Shikha, 2017). Esta ha disminuido por la baja rentabilidad que tiene para los campesinos (Mayo, 2019). Por ello, contar con políticas para mitigar su efecto es una necesidad (López & Hernández, 2016; Nicholls & Altieri, 2019). El acercamiento con los productores para generar políticas encaminadas a enfrentar los efectos del cambio climático es de suma importancia (López & Hernández, 2016; Mayo, 2019; Orozco et al., 2019). Por otro lado, debido a que el efecto del cambio climático es diferente entre regiones, lo necesario es que las políticas se planeen de forma localizada (López & Hernández, 2016).

Actualmente, el estado de Durango aporta el 3.6% de la producción primaria del país. Lo anterior equivale es 3% del ingreso nacional por esta actividad. Durango destaca en la producción de maíz, avena forrajera, alfalfa, frijol y manzana. En el 2018, el 76% de la superficie que se cosechó fue de secano (SIAP, 2019). Entonces, buena parte de los cultivos pueden sufrir daño por el cambio climático. Sin embargo, en la región norte de Durango, no se han realizado estudios acerca de la percepción de los productores sobre el cambio climático o las medidas con las que lo afrontan.

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es analizar las medidas de adaptación de productores agrícolas de secano del norte del Estado de Durango, México ante la intensificación de la variabilidad ambiental para identificar las mejores prácticas de manejo parcelario ante escenarios de cambio climático.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Describir los componentes que caracterizan una condición de vulnerabilidad de productores dedicados a la agricultura de secano en el norte de durango considerando el impacto del cambio climático.

2.- Caracterizar el estado de conservación que presentan los recursos edáficos que emplean los productores de la Unidad de Estudio y su posible impacto en la producción agrícola de secano.

1.3 HIPÓTESIS

Los productores de la unidad de estudio incorporan prácticas de conservación de suelo y agua, manejo de cultivos y diversificación de actividades económicas que garantizan expectativas positivas en el futuro medio en condiciones de cambio climático.

1.4 LITERATURA CITADA

- Aamir, M., Kumar, R. K., Kumar, D. M., Zehra, A., Nandan, T. Y., Divyanshu, K., Samal, S., & Upadhyay, R. S. (2019). Impact of Climate Change on Soil Carbon Exchange, Ecosystem Dynamics, and Plant–Microbe Interactions. In C. K. Kumar, A. Kumar, & S. A. Kishor (Eds.), *Climate Change and Agricultural Ecosystems* (pp. 379–413). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816483-9.00020-7>
- Bhadouria, R., Singh, R., Singh, V. K., Borthakur, A., Ahamad, A., Kumar, G., & Singh, P. (2019). Agriculture in the Era of Climate Change: Consequences and Effects. In C. K. Kumar, A. Kumar, & S. A. Kishor (Eds.), *Climate Change and Agricultural Ecosystems* (pp. 1–23). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816483-9.00001-3>

- Bocco, G., Solís, C. B., Orozco, R. Q., & Ortega, I. A. (2019). La agricultura en terrazas en la adaptación a la variabilidad climática en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Journal of Latin American Geography*, 18(1), 141–168. <https://doi.org/10.1353/lag.2019.0006>
- Gowtham, R., Palanisamy, R. A., & Geethalakshmi, V. (2018). Climate Change Projections and Addressing Intrinsic Uncertainties. In C. Sivaperuman, A. Velmurugan, S. A. Kumar, & I. Jaisankar (Eds.), *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands* (pp. 387–402). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3/00013-2>
- Green, D. (2019). Climate Change and the Impact on Animals. In *Animals in Disasters* (pp. 163–170). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813924-0.00013-x>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press.
- López, F. A. J., & Hernández, C. D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico*, 83(4), 459–496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Madrigal, P. R., & Buysse, A. (2019). Una educación dirigida al campesino para enfrentar el cambio climático. Rol del laboratorio de agrobiología en el extensionismo agrícola. *Universidad & Ciencia*, 8(2), 104–123.
- Mayo, M. M. (2019). Conocimiento tradicional ¿Una alternativa al cambio climático? *Kuxulkab'*, 25(51), 41–48. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n51.2901>
- Medeiros, J. R. A. (2018). Impact of climate change on the service life of concrete structures. In T. F. Pacheco, R. Melchers, N. de Belie, X. Xi, K. Van Tittelboom, & P. A. Saez (Eds.), *Eco-efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures* (pp. 43–68). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102181-1.00003-4>
- Montiel, G. I., Martínez, S. S., López, S. A., & García, H. G. (2017). Climate change impact on rainfed agriculture in Aguascalientes, Mexico for the near future (2015-2039). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2017.01.001>
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *UNED Research Journal*, 11(1), 55–61. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i1.2322>

- Olivares, B. O. (2018). Tropical rainfall conditions in rainfed agriculture in Carabobo, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 27(1), 86–102. <https://doi.org/http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.07>
- Orozco, B. H., Hernández, V. M., García, J. G., & Suárez, G. G. (2019). Cambio climático: Una percepción de los productores de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 10(19), 1–26. <https://doi.org/10.23913/ciba.v8i16.89>
- Ortega, R. M., García, M. M., Sanchis, I. C., Pulido, V. M., Girart, C., Marcos, P., Ruiz, R. M., & García, P. A. (2018). Adaptación de la agricultura a escenarios de cambio global. Aplicación de métodos participativos en la cuenca del río Júcar (España). *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 18(2), 29–51. <https://doi.org/10.7201/earn.2018.02.02>.
- Osuna, C. E. S., Figueroa, S. B., Martínez, G. M. Á., & Pimentel, L. J. (2019). Un sistema agroforestal de secano para el altiplano semiárido de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. esp.*(22), 89–103. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1861>
- Pandey, B., & Kumar, C. K. (2019). Air Pollution: Role in Climate Change and Its Impact on Crop Plants. In C. K. Kumar, A. Kumar, & S. A. Kishor (Eds.), *Climate Change and Agricultural Ecosystems* (pp. 211–247). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816483-9.00009-8>
- Reichhuber, A., Gerber, A., López, S. A., Graw, V., Stefanski, R., Davies, J., Vuković, A., Fernández, G. M. A., Fiati, C., & Jia, X. (2019). *El nexo tierra-sequía: Refuerzo de la Función de las Intervenciones Basadas en las Tierras Para Mitigar la Sequía y Gestionar los Riesgos. Un informe de la Interfaz Ciencia-Política*. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). *Panorama agroalimentario 2019* (Primera ed). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social. <https://www.gob.mx/fira/documentos/panorama-agroalimentario>
- Shankar, S., & Shikha. (2017). Impacts of climate change on agriculture and food security. In S. R. Lakhan & S. Mondal (Eds.), *Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies* (pp. 207–234). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00007-6>
- Tripathi, A., Tripathi, D. K., Chauhan, D. K., Kumar, N., & Singh, G. S. (2016). Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, 356–373. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.034>

- Wadgymar, S. M., MacTavish, R., & Anderson, J. T. (2019). Evolutionary consequences of climate change. In J. E. Mohan (Ed.), *Ecosystem Consequences of Soil Warming* (pp. 29–59). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813493-1.00003-X>
- World Economic Forum. (2018). The Global Risk Report 2019. In *13th Edition*. http://www3.weforum.org/docs/WEF_GRR18_Report.pdf
- Yohannes, H. (2016). A Review on Relationship between Climate Change and Agriculture. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 7(02), 1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000335>

CAPITULO II

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 VULNERABILIDAD

El termino vulnerabilidad es usado con frecuencia para conocer la relación entre los seres humanos y su entorno físico y social (Das et al., 2020). La vulnerabilidad se define como la predisposición a ser afectado. Esta incluye una serie de conceptos y elementos como la sensibilidad, la exposición y la capacidad adaptativa (IPCC, 2014). La vulnerabilidad no es algo que se pueda observar o medir directamente por lo que existen diversas formas de estimarla (Michetti & Ghinoi, 2020). Por ejemplo, el IPCC (2007) define la vulnerabilidad con la siguiente ecuación:

$$Vulnerabilidad (V) = Exposición (E) + Sensibilidad (S) - Capacidad Adaptativa (CA)$$

El nivel de vulnerabilidad de los productores es resultado de la integración de factores económicos, ecológicos y sociales (Green et al., 2020). El nivel de vulnerabilidad varía en diferentes escalas regionales debido a la interacción entre estos factores con las condiciones climáticas (Zuniga-Teran et al., 2021).

2.1.1 Vulnerabilidad en las zonas áridas

En México los estudios de vulnerabilidad al cambio climático continúan en desarrollo. Áreas de oportunidad diversas se perciben en estudios de vulnerabilidad de recursos naturales como suelo, actividades socioeconómicas y en áreas naturales protegidas (Nájera-González & Carrillo-González, 2020). Por otro lado, los estudios desagregados o a nivel micro son esenciales para la planeación de estrategias locales. Estos son necesarios principalmente en las

zonas áridas y semiáridas debido al nivel de riesgo que presentan (Marín-Monroy et al., 2020).

Vulnerabilidad a las sequías

La vulnerabilidad a las sequías se refiere al grado en el que un sistema es susceptible a sufrir daños por sequías e incapacidad de hacer frente a sus efectos adversos (Ortega-Gaucin et al., 2018). Las zonas áridas son más susceptibles a las sequías debido a la en la precipitación muy variable. El termino sequía carece de una definición universal debido a que esta se estudia desde enfoques diversos como el meteorológico, el hidrológico, el agrícola o el socioeconómico. Los impactos de las sequías pueden sentirse en los diversos sectores de la sociedad y afectar diversas actividades económicas (CENAPRED, 2021).

Muchos (18) eventos de sequía se han registrado en México entre 1948 y 2000. Durante este período, 195 municipios de la región norte del país presentaron sequías severas que afectaron a casi 10 millones de habitantes de zonas áridas y semiáridas. Entre los impactos de estas sequías se destacan la pérdida de cabezas de ganado, disminución del nivel de agua en las presas, siniestro de cultivos de secano y riego, disminución del nivel de los mantos freáticos, defunciones por deshidratación, entre otros. Esto, a su vez, generó un efecto dominó desencadenando en algunos casos consecuencias más graves como pérdida de empleos, pobreza o abandono de comunidades por migración (CENAPRED, 2021).

Ante estos efectos adversos gobiernos, asociaciones y grupos de expertos han propuesto diversos grupos de medidas estructurales, no estructurales y opcionales para mitigar el impacto de las sequías. Entre las medidas estructurales se destacan pozos y presas que son obras que permiten almacenar y distribuir agua para satisfacer las necesidades de la población. Por otro lado, las medidas no estructurales son acciones que se pueden realizar *a priori* (preventivas) o *a posteriori* (reactivas) para disminuir el impacto de las sequías, algunos ejemplos son racionar el uso del agua o concientizar a la población.

Finalmente, las medidas opcionales dependen de la capacidad y características fisiográficas y socioeconómicas de la zona afectada; entre ellas destacan el uso de agua de zonas muy alejadas, la desalinización de agua del mar o las lluvias artificiales, entre otras (CENAPRED, 2021; Crossman, 2019). México ha seguido algunas recomendaciones de expertos en el tema integrando en 2003 el Monitor de Sequía en México y en 2013 en Programa Nacional Contra las Sequías (PRONACOSE) (SMN, 2021).

El Monitor de Sequía en México surge en 2003 tras una adaptación a la metodología del Monitor de Sequías para Norteamérica. El monitor de sequía en México utiliza 7 índices de sequía integrados mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica para realizar los diagnósticos de sequía. Este no es un sistema de pronóstico es más bien un sistema que permite describir y caracterizar la distribución espacial e impactos de las sequías. La importancia del monitor de sequías radica en su utilidad para la planeación de planes de mitigación de sequías a escala local y los planes de manejo integral (Lobato-Sánchez, 2016).

En México no existe un periodo regular de aparición de sequías y estas tienen una distribución espacial irregular. Las sequías pueden ser provocadas por cambios en la presión y circulación atmosférica, cambio en el albedo, así como alteraciones en la temperatura del océano. En el entorno climático los principales fenómenos que pueden modificar los patrones atmosféricos son: 1) El Niño Oscilación del Sur; 2) la Oscilación Decadal del Pacífico; y 3) la Oscilación multidecadal del Atlántico (CENAPRED, 2021; Lobato-Sánchez et al. 2019; Sánchez-Santillán, 2006).

2.2 EXPOSICIÓN

La exposición es uno de los componentes principales de la vulnerabilidad (Omerkhil *et al.*, 2020). Esta se define con la presencia de humanos, otros seres vivos y sus funciones en zonas que pueden ser afectadas (IPCC, 2014). En un estudio realizado por Zuniga-Teran et al. (2021) se encontró que en la zonas

áridas el recurso suelo será afectado por erosión, deforestación y modificaciones de uso de suelo.

2.2.1 Exposición en zonas áridas

Las sequías pueden presentarse en cualquier zona y temporada. Sin embargo, zonas que se encuentran más expuestas a este fenómeno de manera natural existen. Por ejemplo, aquellas zonas cercanas a una latitud de 30° que en México corresponde a las zonas áridas y semiáridas (CENAPRED, 2021). Además, en las zonas áridas también podemos encontrar asentamientos poco desarrolladas que se dedican principalmente a actividades primarias. Una de ellas es la agricultura de secano que es muy vulnerable a las sequías. Ante la presencia de este fenómeno, los agricultores tienen rendimientos bajos o nulos (Savari & Amghani, 2021).

2.3 SENSIBILIDAD

La sensibilidad se define como el grado en que un sistema es afectado por alteraciones (Crossman, 2019). Omerkhil et al. (2020) considera cinco componentes para estimarla: disponibilidad y accesibilidad a tierras agrícolas, suficiencia alimentaria y de agua, composición del hogar y predisposición a daños en los cultivos. De manera general los pequeños productores agrícolas tienen una diversificación de actividades económicas y productivas. Por este motivo los agricultores son más sensibles a las variaciones en la economía pero reduce su sensibilidad ante variaciones en las condiciones climáticas (Zuniga-Teran et al., 2021).

2.4 CAPACIDAD ADAPTATIVA

La producción de alimentos y la seguridad alimentaria serán impactados severamente por el cambio climático. Sin embargo, el impacto puede ser diferente entre regiones y cultivos. Para contrarrestar este impacto, la implementación de medidas de adaptación y mitigación son necesarias (Anderson et al., 2020). La adaptación es un proceso de ajuste a las condiciones

actuales o a las esperadas en el futuro. Para ello se busca evitar daños y aprovechar oportunidades mejorando la capacidad adaptativa (IPCC, 2014). Esta última se refiere a la capacidad de un sistema para evolucionar y adaptarse a riesgos diversos (Crossman, 2019).

2.4.1 Estrategias de adaptación y mitigación

Los impactos derivados del cambio climático no se reparten de manera equitativa en la población. Los individuos con una menor cantidad de recursos son más afectados. Ello puede ser debido a que su capacidad de respuesta es más limitada (Manzanedo & Manning, 2020). Por otro lado, las prácticas de adaptación o mitigación al cambio climático que realicen los productores dependerán de su nivel de percepción de riesgos y su experiencias (Gebru et al., 2020; Michetti & Ghinoi, 2020).

Los pequeños productores se han adaptado principalmente en tres grandes rubros que son manejo de cultivos, manejo de agua y suelo y diversificación de actividades no agrícolas (Gebru et al., 2020; Khanal et al., 2021). Referente a manejo de suelo y agua las técnicas más comunes son obras de desviación de escorrentías, surcado al contorno, uso de compostas y labranza mínima (Talanow et al., 2021). Entre las prácticas de manejo de cultivos más comunes se encuentra la rotación de cultivos, el uso de semillas criollas y de ciclo corto y el uso de policultivos (Orduño-Torres et al., 2020). Finalmente, referente a la diversificación de actividades no agrícolas muchos productores practican también ganadería u otra actividad económica, también reciben apoyos económicos de familiares o instituciones gubernamentales o migran temporalmente como empleados a otras zonas (Gebru et al., 2020).

2.4.2 Capital Social

El capital social se refiere a las normas y relaciones que facilitan la cooperación para beneficio mutuo (Pawar, 2006). Este se basa en las relaciones estructurales, productivas y normativas de la sociedad (Martínez-Martínez & Rodríguez-Brito,

2020). El fortalecimiento del capital social tiene un rol fundamental para fortalecer la resiliencia. Al contar con sociedades organizadas y con la participación de instituciones gubernamentales y no gubernamentales se pueden diseñar estrategias de acción diversas (Satterthwaite et al., 2020).

2.4.3 Capital Humano

El capital humano se refiere a la capacitación y educación de los humanos para mejorar o adquirir conocimientos (Woodhall, 1987). En esencia, este capital se refiere a que los actores tengan conocimientos suficientes para identificar los posibles riesgos y diseñar estrategias de adaptación (Dressel et al., 2020). La evidencia demuestra que los productores con mayor capital humano adoptan nuevas técnicas agrícolas rentables (Huffman, 2020). Además, la toma de decisiones con base en la información es fundamental en el desarrollo de una agricultura sustentable (Amir et al., 2020).

2.4.4 Capital financiero

El capital financiero se refiere a los activos financieros como el dinero o los bonos. La importancia de tal capital radica en que permite intercambiar un tipo de capital por otro (Volkov et al., 2016). El capital financiero juega un rol primordial en la capacidad de adaptación de las comunidades. Diversos programas de adaptación se han enfocado a crear y mejorar las redes financieras (Barnes et al., 2020). La diversificación de las fuentes de ingreso ayuda a compensar las pérdidas en caso de siniestro de la actividad agrícola. Por otro lado, la diversificación permite realizar inversiones para mejorar la actividad productiva (Tessema et al., 2021).

2.4.5 Capital manufacturado

El capital manufacturado se refiere a todos aquellos activos fijos usados en el proceso productivo (Karvonen, 2001). Ejemplo de ello son la maquinaria agrícola, bodegas y distintas obras en las parcelas. Éstas permiten facilitar el proceso productivo como en el caso de la maquinaria y hacer frente a condiciones

adversas mediante obras de manejo de agua, por ejemplo. El fortalecimiento de este capital requiere acceso a algunos de los demás capitales (Holman et al., 2021).

2.4.6 Capital natural

El capital natural se refiere al ambiente y su dotación de recursos naturales incluidos los ecosistemas (Barbier, 2019). Éste tiene un rol determinante en la producción agrícola. El agua y un suelo fértil son un prerrequisito para el desarrollo de las actividades agrícolas (Savari & Amghani, 2021). El mejoramiento del capital natural a través de la gestión de suelo y agua puede ayudar a mejorar la disponibilidad de agua en el suelo aumentando la resiliencia a las sequías (Holman et al., 2021).

2.4.7 Lecciones de la presente pandemia

La situación actual de pandemia por Covid-19 denotó situaciones clave de gran utilidad para la planeación de estrategias de adaptación al cambio climático. Las crisis globales no son fenómenos nuevos, sin embargo, pueden conllevar aprendizajes importantes. Por ejemplo, la preparación para situaciones poco probables. Muchos desastres naturales tienen una probabilidad de ocurrencia reducida y se asume que su probabilidad es cero. Por ello, su impacto puede ser importante. En ese sentido económicamente es más costoso prevenir que remediar (Botzen et al., 2021; Manzanedo & Manning, 2020). Por otro lado, la pandemia tuvo un impacto positivo en el sistema atmosférico. Debido a las restricciones sanitarias y a la disminución de actividades humanas hubo reducciones en las emisiones de NO_x y CO₂ con 35% y 7%, respectivamente (IPCC, 2021).

2.5 RIESGO

El concepto de riesgo fue introducido al marco teórico del IPCC en su quinta comunicación en el año 2014 (Das et al., 2020). Éste se define como la probabilidad de que ocurran eventos o tendencias peligrosas multiplicado por su

impacto. El riesgo es el resultado de la interacción entre la vulnerabilidad, la exposición y las amenazas (IPCC, 2014). En las zonas áridas las sequías son de los principales riesgos para la población (Crossman, 2019).

La percepción del riesgo y la vulnerabilidad son nociones íntimamente ligadas (Nájera-González & Carrillo-González, 2020). La percepción del riesgo es socialmente construida por el contexto socioambiental. Por otro lado, la vulnerabilidad es un valor estimado que depende de factores económicos, ecológicos y sociales. Una correlación positiva entre el grado de vulnerabilidad de una región y su percepción de riesgos existe (Michetti & Ghinoi, 2020).

2.6 EMERGENCIA

El término emergencia hace referencia a la aparición de condiciones nuevas para las variables climáticas en una región determinada. Este concepto a menudo es expresado como “ruido” dentro del rango normal de la variable. Las zonas potenciales de emergencia pueden estimarse utilizando los escenarios de cambio climático (IPCC, 2021).

2.7 DEGRADACIÓN EDÁFICA

El proceso de degradación edáfica es definido como un conjunto de procesos que ocasionan el deterioro de este componente dando como resultado una disminución de su productividad biológica. La degradación puede producirse por desprendimiento de material del suelo (erosión hídrica y eólica); o por un deterioro interno que provoca una disminución en productividad biológica y un cambio en la estructura del suelo (degradación física y química) (CONAFOR, 2018). Estos deterioros pueden afectar la productividad de los pequeños productores agrícolas poniendo en riesgo su seguridad alimentaria (Cotler et al., 2020). En México, el 69.7% del territorio nacional presenta algún tipo de degradación siendo la erosión hídrica la dominante con 25.4% del territorio nacional (López-Santos, 2016).

2.7.1 Erosión hídrica

En la erosión hídrica el agua es el agente causal del arrastre y pérdida de partículas de suelo por efecto de lluvias, crecida de ríos y arroyos, y del riego, entre otros (INEGI, 2014). Algunos de los tipos más comunes de erosión hídrica son la pérdida de capa superficial y la formación de cárcavas (WOCAT, 2008). La tasa y magnitud de tal fenómeno se encuentra condicionado por la intensidad de la lluvia, la erodabilidad intrínseca del suelo así como su pendiente y el nivel de cobertura vegetal (SEMARNAT, 2018).

2.7.2 Erosión eólica

El proceso de erosión eólica es causado por la acción del viento en forma de remolinos, tolvaneras o tornados que desagregan, remueven y transportan las partículas del suelo (INEGI, 2014). La forma más común es la pérdida superficial de láminas de suelo (WOCAT, 2008). Para el caso de la erosión eólica la erodabilidad del suelo, la cobertura vegetal, la rugosidad del suelo y el clima son determinantes en su tasa y magnitud. Éste tipo de erosión afecta principalmente zonas secas (áridas, semiáridas y subhúmedas); sin embargo, no es exclusiva de ellas (SEMARNAT, 2018). En nuestro país, el 20.1% del territorio nacional presenta erosión eólica (López-Santos, 2016).

2.7.3 Degradación física

Éste tipo de degradación ocurre principalmente por actividades ganaderas, uso de maquinaria pesada y extracción de agua del subsuelo que provocan la ruptura de los agregados del suelo impidiendo la infiltración y causando compactación. Los tipos más comunes de degradación física se presentan como encostramientos, compactación y sellado. Estos afectan el ciclo de nutrientes y la infiltración de agua (SEMARNAT, 2018). Éste tipo de degradación es el menos común y solo se presenta en el 4.1% del país (López-Santos, 2016).

2.7.4 Degradación química

La degradación química del suelo ocurre por diversas actividades agrícolas o industriales como el derrame de desechos tóxicos, el mal manejo de agroquímicos y riegos inadecuados, entre otros. Los tipos principales de esta degradación son polución, salinización-alcalización y eutrofización. La degradación química es causada principalmente debido a las erosiones hídrica y eólica, así como a las prácticas malas de manejo de suelo (SEMARNAT, 2018; WOCAT, 2008). Este fenómeno se extiende por el 20.1 % del territorio nacional (López-Santos, 2016).

2.8 LITERATURA CITADA

- Amir, S., Saqib, Z., Khan, M. I., Ali, A., Khan, M. A., Bokhari, S. A., & Zaman-ul-Haq. (2020). Determinants of farmers' adaptation to climate change in rain-fed agriculture of Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06019-w>
- Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
- Barbier, E. B. (2019). The concept of natural capital. *Oxford Review of Economic Policy*, 35(1), 14–36. <https://doi.org/10.1093/oxrep/gry028>
- Barnes, M. L., Wang, P., Cinner, J. E., Graham, N. A. J., Guerrero, A. M., Jasny, L., Lau, J., Sutcliffe, S. R., & Zamborain-Mason, J. (2020). Social determinants of adaptive and transformative responses to climate change. *Nature Climate Change*, 10(9), 823–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0871-4>
- Botzen, W., Duijndam, S., & van Beukering, P. (2021). Lessons for climate policy from behavioral biases towards COVID-19 and climate change risks. *World Development*, 137, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105214>
- CONAFOR. (2018). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales Manual de obras y prácticas* (5th ed.).
- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- Crossman, N. D. (2019). *Drought Resilience, Adaptation and Management Policy*

Framework: Supporting Technical Guidelines. UNCCD.
<https://www.unccd.int/publications/drought-resilience-adaptation-and-management-policy-framework-supporting-technical>

- Das, S., Ghosh, A., Hazra, S., Ghosh, T., Safra de Campos, R., & Samanta, S. (2020). Linking IPCC AR4 & AR5 frameworks for assessing vulnerability and risk to climate change in the Indian Bengal Delta. *Progress in Disaster Science*, 7, 100110. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100110>
- Dressel, S., Johansson, M., Ericsson, G., & Sandström, C. (2020). Perceived adaptive capacity within a multi-level governance setting: The role of bonding, bridging, and linking social capital. *Environmental Science and Policy*, 104, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.11.011>
- Gebru, G. W., Ichoku, H. E., & Phil-Eze, P. O. (2020). Determinants of smallholder farmers' adoption of adaptation strategies to climate change in Eastern Tigray National Regional State of Ethiopia. *Heliyon*, 6(7), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04356>
- Green, L., Schmook, B., Radel, C., & Mardero, S. (2020). Living Smallholder Vulnerability: The Everyday Experience of Climate Change in Calakmul, Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 19(2), 110–142. <https://doi.org/10.1353/lag.2020.0028>
- Holman, I. P., Hess, T. M., Rey, D., & Knox, J. W. (2021). A Multi-Level Framework for Adaptation to Drought Within Temperate Agriculture. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.589871>
- Huffman, W. E. (2020). Human Capital and Adoption of Innovations: Policy Implications. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(1), 92–99. <https://doi.org/10.1002/aepp.13010>
- INEGI. (2014). *Guía para la interpretación de cartografía de erosión del suelo Escala 1:250000*.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007. Synthesis report*. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- IPCC. (2014). Summary for policy makers. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–32). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511976988.002>

- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press.
- Karvonen, M. M. (2001). Natural versus manufactured capital: Win - lose or win - win? A case study of the Finnish pulp and paper industry. *Ecological Economics*, 37(1), 71–85. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00265-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00265-2)
- Khanal, U., Wilson, C., Rahman, S., Lee, B. L., & Hoang, V. N. (2021). Smallholder farmers' adaptation to climate change and its potential contribution to UN's sustainable development goals of zero hunger and no poverty. *Journal of Cleaner Production*, 281, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124999>
- Lobato-Sánchez, R. (2016). El monitor de la sequía en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(5), 197–211.
- Lobato-Sánchez, R., Altamirano, del C. M. Á., Hoyos, R. C., López, P. M., Salas, S. M. A., & Rosario, de la C. J. G. (2019). Procedimiento metodológico para la elaboración de un monitor de la persistencia de la sequía en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(1), 146–176. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-06>
- López-Santos, A. (2016). Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? *Terra Latinoamericana*, 34(2), 239–249.
- Manzanedo, R. D., & Manning, P. (2020). COVID-19: Lessons for the climate change emergency. *Science of the Total Environment*, 742, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140563>
- Marín-Monroy, E. A., Trejo, V. H., de la Pena, M. A. O. R., Polanco, G. A., & Barbara, N. L. (2020). Assessment of socio-environmental vulnerability due to tropical cyclones in La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4), 1–11. <https://doi.org/10.3390/su12041575>
- Martínez-Martínez, O. A., & Rodríguez-Brito, A. (2020). Vulnerability in health and social capital: A qualitative analysis by levels of marginalization in Mexico. *International Journal for Equity in Health*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12939-020-1138-4>
- Michetti, M., & Ghinai, S. (2020). Climate-driven vulnerability and risk perception: implications for climate change adaptation in rural Mexico. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 10(3), 290–302. <https://doi.org/10.1007/s13412-020-00607-8>

- Nájera-González, A., & Carrillo-González, F. M. (2020). Vulnerability assessment studies on climate change: a review from the research in Mexico. *Atmósfera*, 1–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/ATM.52895>
- Omerkhil, N., Chand, T., Valente, D., Alatalo, J. M., & Pandey, R. (2020). Climate change vulnerability and adaptation strategies for smallholder farmers in Yangi Qala District, Takhar, Afghanistan. *Ecological Indicators*, 110, 105863. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105863>
- 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, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105031>
- Ortega-Gaucin, D., Castellano, H. V., & De La Cruz, J. (2018). Economic, social and environmental vulnerability to drought in the northwest river basin system, Mexico. *International Journal of Environmental Impacts: Management, Mitigation and Recovery*, 1(3), 240–253. <https://doi.org/10.2495/ei-v1-n3-240-253>
- Pawar, M. (2006). “Social” “capital”? *Social Science Journal*, 43(2), 211–226. <https://doi.org/10.1016/j.soscij.2006.02.002>
- Sánchez-Santillán, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006). La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7(2), 85–95. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n2.007>
- Satterthwaite, D., Archer, D., Colenbrander, S., Dodman, D., Hardoy, J., Mitlin, D., & Patel, S. (2020). Building Resilience to Climate Change in Informal Settlements. *One Earth*, 2(2), 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.002>
- Savari, M., & Amghani, M. S. (2021). SWOT-FAHP-TOWS analysis for adaptation strategies development among small-scale farmers in drought conditions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, November, 102695. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102695>
- SEMARNAT. (2018). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2018*.
- SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SMN. (2022, 4 febrero). *Monitor de Sequía en México*. Gobierno de México. Recuperado 17 de febrero de 2022, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- Talanow, K., Topp, E. N., Loos, J., & Martín-López, B. (2021). Farmers' perceptions of climate change and adaptation strategies in South Africa's Western Cape. *Journal of Rural Studies*, 81, 203–219. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.026>
- Tessema, K. B., Haile, A. T., & Nakawuka, P. (2021). Vulnerability of community to climate stress: An indicator-based investigation of Upper Gana watershed in Omo Gibe basin in Ethiopia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 63, 102426. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102426>
- Volkov, Y. Y., Krotov, D. V., Rachipa, A. V., Zagutin, D. S., & Zhapuev, Z. A. (2016). Definition of the subjectivity of financial capital in sociological science. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(5), 1–9. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i5/87629>
- WOCAT. (2008). Mapas de la Degradación de la Tierra y el Desarrollo de Mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra (CM). In A. C. Ravelo, A. M. Planchuelo, & V. Pietragalla (Eds.), *Un cuestionario para posibilitar la realización de Mapas de la Degradación de la Tierra y el desarrollo de Mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra*. WOCAT.
- Woodhall, M. (1987). Human Capital Concepts. In *Economics of Education*. Pergamon Books Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-033379-3.50011-5>
- Zuniga-Teran, A. A., Mussetta, P. C., Lutz Ley, A. N., Díaz-Caravantes, R. E., & Gerlak, A. K. (2021). Analyzing water policy impacts on vulnerability: Cases across the rural-urban continuum in the arid Americas. *Environmental Development*, 38, 100552. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100552>

CAPITULO III

3 EMERGENCIA ANTE LOS RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SOMBRA DEL COVID-19 PARA LA AGRICULTURA DE SECANO DEL NORTE DE MÉXICO

3.1 RESUMEN

El cambio climático se ha definido como una emergencia global. Sus impactos afectan diversos sectores de la sociedad incluyendo el agrícola. Las variaciones anormales de los regímenes de temperatura y precipitación son adversas para la agricultura de secano. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue identificar la distribución local de los impactos provocados por la variación de las condiciones climáticas en varios escenarios de cambio climático, así como las medidas de adaptación y mitigación empleadas por los productores para hacerles frente. Para ello, los datos climáticos históricos y de escenarios del AR6 fueron obtenidos y analizados. Además, un cuestionario fue elaborado y aplicado a productores para obtener información de las medidas de adaptación y mitigación utilizadas por ellos. Los resultados sugieren que incrementos de temperatura y precipitación, y un crecimiento de las zonas áridas podrían ocurrir. Por otro lado, los datos del cuestionario muestran que los productores prefieren la aplicación de medidas en el entorno físico y de efecto inmediato. Por lo tanto, medidas que impliquen participación institucional y con efectos a largo y mediano plazo son necesarias.

Palabras clave: Zonas áridas, Thornthwaite, adaptación y mitigación, AR6

3.2 ABSTRACT

Climate change has been defined as a global emergency. Its impacts affect society sectors including the agricultural sector. Abnormal variations of precipitation and temperature regimes are adverse to rainfed agriculture. Therefore, this work aimed to identify the local distribution of the impacts caused by climate condition variations under various climate change scenarios, as well as adaptation and mitigation measures used by growers to confront them. For that, historic and the AR6 scenario climate data were obtained and analyzed. In addition, a questionnaire was created and applied to growers to know the different adaptation and mitigation measures used by them. Results suggest that temperature and precipitation increase and an expansion of arid areas could occur. On the other hand, the questionnaire data show that growers prefer the

application of short-term measures applied on the physical domain. Therefore, measures that imply institutional participation with medium- and long-term effects are needed.

Key words: drylands, Thornthwaite, adaptation and mitigation, AR6

3.3 INTRODUCCIÓN

Globalmente, la agricultura de secano (AS) se practica en el 80% de las superficies agrícolas y aporta el 60% de la producción de cultivos; esta actividad está sujeta a riesgos ambientales, primordialmente ligados a la gestión del agua, que el productor conoce y aprende a manejarlos con relativo relativo (FAO, 2020); sin embargo, ante una mayor variabilidad climática con eventos extremos como las sequías, y ante la sombra de los estragos asociados a la pandemia del COVID-19, la habilidad o capacidad de adaptación del productor se ve comprometida para conseguir cosechas (FAO, 2021; Haro et al., 2021)

En esencia las sequías en esencia son fenómenos naturales extremos recurrentes. Éstas son originadas por lluvias con magnitudes menores de los niveles normales; su interacción con la demanda es particularmente importante para la agricultura y la ganadería, así como en el suministro de agua para el consumo doméstico comunitario (Coles & Eslamian, 2017; FAO, 2020; IPCC, 2021; Muralikrishnan et al., 2022). Estudios diversos como los de Amir et al. (2020), FAO (2020), FAO (2021), Hermans & McLeman (2021), Richardson et al., (2018), y Shah et al., (2021) mencionan que en condiciones críticas con presencia de sequías, inundaciones y ondas de calor, coloquialmente definidos como años “malos”, además de vulnerar la producción primaria, las economías campesinas se deterioran en detrimento de la disponibilidad de alimentos. A nivel mundial 128 millones de hectáreas, equivalentes al 11 % de las AS son afectadas por sequías recurrentes (FAO, 2021).

En México, debido a su ubicación geográfica las sequías no son ajenas al productor, quien depende de las lluvias para sus cultivos en la parcela (*in situ*) o fuera de éstas (*ex situ*). Sin embargo, su frecuencia y severidad (CENAPRED, 2021), como consecuencia probable del Cambio Climático Global, y ante la

presencia de fenómenos atmosféricos con influencia regional, como la Oscilación del Sur El Niño (ENSO), multiplican la presión sobre la AS en su conjunto. Particularmente, los pequeños productores (≤ 5 hectáreas) son los más vulnerables (Haro et al., 2021; IPCC, 2021; Murray-Tortarolo et al., 2018; Neri & Magaña, 2016; Ortega-Gaucin et al., 2018a).

Diversos estudios han mostrado la fragilidad y predisposición del Norte y Noreste de México a la sequía (Haro et al., 2021; Murray-Tortarolo et al., 2018; Neri & Magaña, 2016; Ortega-Gaucin et al., 2018a; Ortega-Gaucin et al., 2018b); en atención a ésta problemática, en 2013 se integra el Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE). Este programa está asociado al Monitor de Sequía de América del Norte (NADM). Su función primordial es determinar la intensidad por este fenómeno mediante cinco criterios: Anormalmente seco (D0), Sequía moderada (D1), Sequía severa (D2), Sequía Extrema (D3) hasta Sequía excepcional (D4) (SNM, 2021). El PRONACOSE genera información quincenal sobre la incidencia de sequía como fenómeno físico-ambiental (Anglés & Maldonado, 2020; Espinosa-Rodríguez et al., 2021; Lobato-Sánchez, 2016). Esto está en consonancia con otros estudios (CONAGUA, 2012; Ortega-Gaucin et al., 2018a; Ortega-Gaucin et al., 2018b) que emplean el enfoque del IPCC (2012) para valorar vulnerabilidad sectorial (VS) en función de tres factores: Grado de exposición, Sensibilidad y Capacidad de adaptación.

Sin embargo, la Capacidad de adaptación como una función intrínseca al productor está insuficientemente clara (CONAGUA, 2012; Haro et al., 2021; Murray-Tortarolo et al., 2018; Ortega-Gaucin et al., 2018a; Ortega-Gaucin et al., 2018b), ya que diversos estudios pasan por alto percepciones y valoraciones sobre su entorno, incluido el tema del COVID-19; es decir, aunque los productores se vea en circunstancias críticas, algunos desistirán, pero otros se mantendrán con la esperanza de mejorar la situación mediante intervenciones favorecidas por la resiliencia sectorial (Amir et al., 2020); ésta resiliencia involucra la fuerza con la que el sector es capaz de recobrase y se basa en la interacción

hombre-naturaleza, la cual se construye por la incertidumbre, errores, aprendizajes y adaptación (Haro et al., 2021).

Por otro lado, uno de los aspectos centrales del Sexto Reporte de Escenarios de Cambio Climático (AR6) tiene que ver con un concepto nuevo denominado *Emergencia*. Éste se refiere a la experiencia o apariencia de condiciones nuevas de un clima variable particular en una región dada (IPCC, 2021). Con este criterio, las zonas áridas (y semiáridas) del mundo podrían considerarse como zonas de *Emergencia*, cuyo indicador más directo podría estar en función de una posible expansión en los próximos decenios (Cherlet et. al, 2018; Feng & Fu, 2013; Huang et al., 2017; Shah et al., 2021).

De lo anterior se desprenden las preguntas siguientes: 1) ¿Qué motiva al productor a continuar en la actividad agrícola a pesar de la recurrencia de años “malos”? 2) ¿Cómo y cuáles incentivos determinan su permanencia en sus lugares de origen?; 3) ¿Qué prácticas de manejo del suelo y del agua son más adecuadas de modo que le permiten al productor obtener cosechas?; y 4) ¿Cómo influye el contexto de la pandemia por el COVID-19 en la capacidad del productor para continuar la actividad agrícola?

Por ello, el objetivo de la presente investigación fue describir los componentes que caracterizan una condición de vulnerabilidad de productores dedicados a la agricultura de secano en el norte del estado de Durango considerando el impacto del cambio climático.

3.4 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO Y LA SOMBRA DEL COVID-19

La Región de estudio (RE) se ubica entre 25° y 26° de latitud norte, muy cercana a la línea del Trópico de Cáncer (23.5°), que coincide con una franja de alta presión donde se localizan los grandes desiertos de África y Asia; la RE ocupa la porción noreste del Estado de Durango (Figura 1a), con una superficie de 681.99 miles de hectáreas, representa el 6% de su territorio (12.336 millones de has). La

RE se integra por cuatro municipios, cuyo orden de importancia por superficie es la siguiente: Nazas (35.4%), San Pedro del Gallo (29.4%), Rodeo (27.2%), y San Luis del Cordero (8%); en los límites de la RE hay vecindad y colindancia con 10 municipios de la misma Entidad (Figura 1b).

El Censo de Población y Vivienda reciente (2020) se registró 29,488 habitantes en los cuatro municipios, cantidad que representa el 1.6% de la población de la entidad. Los municipios con la mayor concentración poblacional (87.3%) son: Nazas (43.8%) y Rodeo (43.5%), en tanto que el 12.7% restante corresponde a San Luis del Cordero y San Pedro del Gallo con 7.1 y 5.5%, respectivamente (INEGI, 2021). La densidad de población en la RE es 3.5 veces menor que la estimada para toda la entidad (4.2/14.9).

En la RE predominan climas cálidos secos. En ella se distingue el árido (BW_hw) (43.58%) y semiárido (BS₁kw, BS₀kw, BS₀hw), con 43.58 y 47.6%, respectivamente (Figura 1b); su característica principal es que alrededor del 80% de la lluvia son en el verano (250-450 mm/año) y temperaturas anuales que varían entre 7 y 18 °C (García, 1964).

En la RE se acomodan 11 grupos de suelo principales (GSP), donde destacan por su extensión los Leptozoles (LP), Calcisoles (CA) y Regosoles (RG), con 50.4, 17.8 y 13.3%, respectivamente; la AS se asienta en un 6.38% de la superficie total de la RE sobre tres GSP: Chernozems (CH), Cambisoles (CM) y LP; la agricultura de riego que se sostiene con escurrimiento del Río Nazas, ocupa 1.82% de la RE donde se identifica una mayor variedad de suelos, incluyendo los Fluvisoles (FL) (Figura 1c).

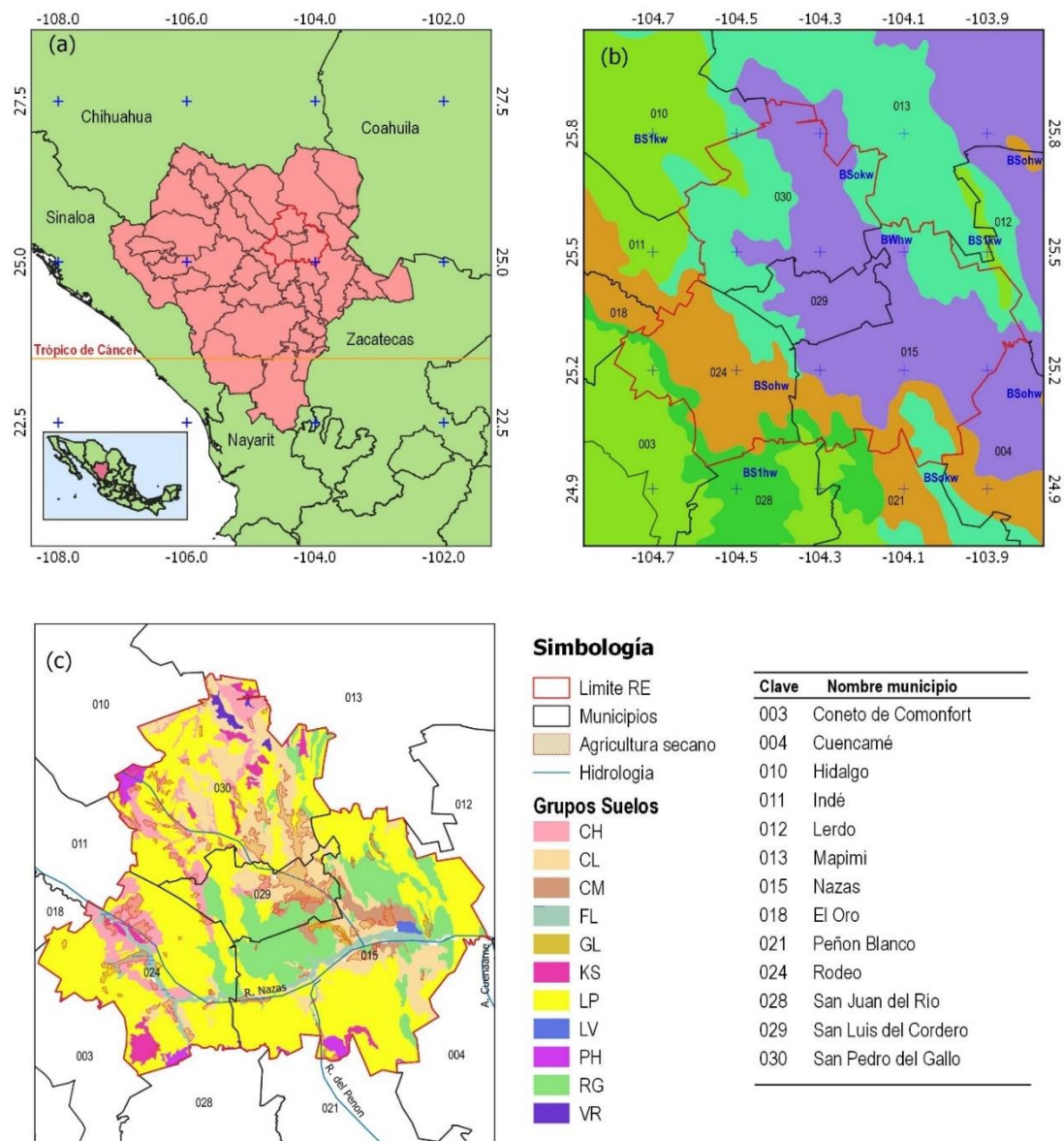


Figura 1. Localización de la Región de Estudio (RE) y principales características. a) Durango en el contexto nacional; b) Climas predominantes en la RE y municipios colindantes; y c) Grupos de suelos principales, áreas con agricultura de secano e hidrología superficial más importante

En la RE un total de 578 casos por COVID-19 representa el 0.8% del total estatal. Para esta zona 45 defunciones representan el 7.7% de los casos que han ocurrido. Además, el 19.3% de los casos han requerido de hospitalización. En

general, el mayor número de contagios se observa en personas mayores entre los 55 y los 64 años (Secretaría de Salud, 2022).

En la mayoría de las regiones del mundo han ocurrido restricciones en la mano de obra debido a la pandemia por COVID-19. Además, la reducción en el crecimiento económico, el desempleo y el cierre de negocios ha limitado el poder adquisitivo de las poblaciones. Por ello una interrupción en la cadena agrícola ha afectado los precios de diversos productos (Seleiman et al., 2020). Por otro lado, el aumento en el precio de insumos como los fertilizantes y las semillas ha afectado principalmente a los pequeños productores agrícolas (FAO, 2022).

En México, 14.62 millones de hectáreas de secano sembradas en 2019 pero solo 13.49 millones (92%) fueron cosechadas; valores similares fueron reportados en 2018. En 2020, solo 12.58 millones de hectáreas de secano fueron sembradas y solo 11.67 millones (93%) fueron cosechadas. Esto implica una reducción del 16% de la superficie de agricultura de secano, menor al 9% de reducción en agricultura de riego (SIAP, 2022). Por otro lado, en México y en el mundo se han registrado incrementos históricos en los precios de los fertilizantes nitrogenados. Por ejemplo, la urea granulada, fertilizante principal utilizado, cuesta 2.4 veces lo que costaba en diciembre de 2019 (Quinn, 2021). Esto juega una limitante en la producción agrícola.

Ante este panorama la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) ha implementado una serie de medidas de respuesta. Por ejemplo, la entrega de apoyos a productores por 22,700 millones de pesos; conformación de grupos en las centrales de abasto para asegurar el subministro de alimentos; y diversas reuniones y paneles con asociaciones e institutos nacionales e internacionales como el INIFAP, la Secretaría de salud, la Organización Internacional del trabajo, las Fundaciones Produce, la FAO y otras con el fin de planear medidas para incentivar la producción agrícola ante la presente crisis sanitaria. Sin embargo, estas medidas han sido insuficientes para atender a las poblaciones rurales. Por ello, lo necesario es una participación activa y coordinada del gobierno, la

academia y el sector rural para con el fin de mitigar los efectos negativos de la pandemia por COVID-19 (Vilaboa-Arroniz et al., 2021).

3.5 MATERIALES Y MÉTODOS

3.5.1 Exposición climática

Origen de los datos

Los datos históricos comprenden el periodo de 1970 a 2000. En el presente trabajo el escenario canadiense (CanESM5) fue seleccionado debido a que presenta mayor sensibilidad. El periodo seleccionado fue el horizonte cercano (2021 a 2040) con dos forzantes radiativas 2.6 y 8.5 wm^{-2} . Los datos de temperatura, precipitación históricos y de los escenarios en formato ráster con una resolución de 2.5' x 2.5' fueron descargados desde el sitio WorldClim (<https://www.worldclim.org/>).

Análisis de datos

Los datos climáticos fueron extraídos y analizados mediante la aplicación Quantum Gis (QGis) versión 3.16 Hannover. Los promedios de temperatura y precipitación fueron estimados y comparados entre escenarios y línea base. Además, el Índice de Gaussen (EC. 1) y el Índice de Martonne mensual (EC. 2) fueron calculados para evaluar la disponibilidad de agua. Finalmente, los cuatro elementos del Sistema de Thornthwaite (EC.3, EC. 4, EC. 5, EC. 6, EC. 7, EC. 8, EC. 9 y E.C. 10) fueron calculados. Para la creación de mapas se utilizó una escala 1:1000000 y se eliminaron los polígonos inferiores a el área mínima cartografiable (16 km^2).

El índice de Gaussen establece que un mes es seco si:

$$P < 2T, \quad (1)$$

donde P es la precipitación mensual en mm y T es la temperatura media mensual en °C.

El Índice de aridez mensual de Martonne establece que cuando I_m es menor a 20 el cultivo requiere de riego para desarrollarse. Este se calcula con la siguiente expresión:

$$I_m = \frac{12 P'}{T' + 10}, \quad (2)$$

donde I_m es el Índice de aridez mensual de Martonne, P' es la precipitación mensual en mm y T' es la temperatura media mensual en °C.

La evapotranspiración potencial (ETP) se refiere a la cantidad máxima de agua que se puede evaporar de una fuente de agua ilimitada. Esta se puede estimar con la siguiente expresión:

$$ETP_m = 16 * \left(\frac{10T}{I}\right)^a * \left(\frac{N*d}{365}\right), \quad (3)$$

$$I = \sum i, \quad (4)$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}, \quad (5)$$

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.01792 * I + 0.49239, \quad (6)$$

donde ETP_m es la evapotranspiración potencial mensual corregida en mm, T es la temperatura media mensual en °C, I es el índice de calor anual, i es el índice de calor mensual, N es el número máximo de horas sol y d es el número de días del mes.

El primer componente de la clasificación climática de Thornthwaite es el Régimen de Humedad I_m que se calcula con la siguiente expresión:

$$I_m = \frac{100E - 60D}{ETP}, \quad (7)$$

donde ETP es la evapotranspiración potencial anual que se calcula sumando las ETP_m de los 12 meses, E es el exceso de humedad en el año y D es la deficiencia de humedad en el año. Estos últimos se calculan restando la ETP mensual a la

precipitación mensual. Posteriormente todos los excesos y deficiencias se suman por separado. Este indicador nos permite diferenciar climas secos y húmedos.

El segundo componente se refiere a la variación estacional de la humedad. Para este se tienen dos expresiones el índice de aridez I_a y el índice de humedad I_h .

$$I_a = \frac{100 D}{ETP}, \quad (8)$$

$$I_h = \frac{100 E}{ETP}, \quad (9)$$

donde D es la deficiencia de agua al año en mm, E es el exceso de agua al año en mm y ETP es la evapotranspiración potencial anual en mm. El I_a se aplica a climas clasificados como húmedos. Por otro lado, el I_h se aplica en los climas secos.

El tercer componente se refiere a la eficiencia térmica. Para este se emplea la ETP calculada con la EC. 5. Finalmente, el cuarto componente se refiere a la eficiencia térmica en verano ETP_v . Esta se calcula con la expresión siguiente:

$$ETP_v = \frac{ETP_6 + ETP_7 + ETP_8}{ETP} * 100\%, \quad (10)$$

donde ETP_6 , ETP_7 y ETP_8 corresponde a los meses de junio, julio y agosto en el hemisferio norte y ETP es la evapotranspiración potencial anual.

3.5.2 Sensibilidad

Datos socioeconómicos

Los datos del censo de población y vivienda 2020 fueron descargados desde el sitio de INEGI (2021) (<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>). Los datos utilizados fueron adultos mayores de 60 años, población analfabeta, acceso a servicios básicos, acceso a salud pública y grado de marginación. Los datos del área de estudio fueron comparados con los datos del estado y a nivel nacional.

3.5.3 Capacidad adaptativa

Elaboración del instrumento de campo

El instrumento de campo diseñado fue una encuesta para productores con enunciados basados en la escala de Likert. Tres dominios fueron diseñados con base a lo propuesto por Espada-Recarey et al. (2016). Estos fueron: dominio 1, percepción de los productores sobre el cambio climático; dominio 2, daños a la producción agrícola asociados a condiciones meteorológicas; y dominio 3, medidas de prevención y mitigación del cambio climático. Los enunciados de los dominios 1 y 2 fueron formulados tomando como referencia a lo elaborado por Hidalgo & Pisano (2010) y Gädicke et al. (2017). El dominio 3 se dividió en capitales de acuerdo con lo que presenta Crossman (2019) como capacidad adaptativa para reducir la vulnerabilidad. Finalmente, los enunciados de la sección 3 fueron tomados de lo presentado por Crossman (2019) y el Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable 2020-2024.

Aplicación del instrumento de campo

Una confiabilidad del 95% fue utilizada para el cálculo del tamaño de muestra (EC.11) que fue de 44 productores. La distribución de entrevistas se realizó de la siguiente forma: Nazas (8), Rodeo (22), San Pedro del Gallo (7) y San Luis del Cordero (7). La cantidad de encuestas por municipio se calculó en relación al porcentaje de productores de cada municipio con respecto al del área de estudio. Durante la aplicación del formato en campo se trató de tener la menor interacción posible con los productores. Lo anterior con el objetivo de evitar sesgar las respuestas.

$$n = \frac{2006 * 1.96^2 * 0.97 * 0.03}{0.05^2 (2006 - 1) + 1.96^2 * 0.97 * 0.03} = 43.76 \quad (11)$$

Análisis de datos

El alfa de Cronbach de cada uno de los dominios, así como del instrumento en general fue calculado en SPSS. También se realizaron análisis de frecuencias a

cada uno de los dominios. Por otro lado, el nivel de fortalecimiento de cada capital fue clasificado en función de los puntajes obtenidos.

3.6 RESULTADOS

3.6.1 Variables climáticas

La precipitación muestra diferencia significativa entre el periodo histórico y el escenario futuro. Para ambas forzantes se puede esperar un aumento en la precipitación media anual. Este incremento será de un 13.4% para la forzante de 2.6 W m^{-2} y de 13.7% para la forzante 8.5 W m^{-2} . En los casos de las temperaturas mínima, media y máxima también se encontraron diferencias significativas y se espera que las tendencias sean al aumento. Para la temperatura mínima puede ocurrir un incremento entre 1.5 y 1.8 °C. En el caso de la temperatura media puede presentarse un aumento de entre un 9 y un 10.7%. Finalmente, para la temperatura máxima un incremento de entre 6 a 7% podría ocurrir. Los valores de las variables climáticas se resumen en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Comparación de las variables de temperatura y precipitación de la línea base (1970-2000) contra los escenarios de cambio climático (2021 a 2040) en la zona de estudio

Variable	Histórico	CanESM5 2.6 Wm^{-2}	CanESM5 8.5 Wm^{-2}
Precipitación (mm)	385.3 ^a	436.9 ^a	438.1 ^a
Temperatura mínima (°C)	3.3 ^c	4.8 ^b	5.1 ^a
Temperatura media (°C)	19.5 ^c	21.3 ^b	21.6 ^a
Temperatura máxima (°C)	33.9 ^c	36.4 ^a	36.1 ^b

($P < 0.05$, Tukey) medias con la misma letra significan efectos iguales.

Disponibilidad de agua

El índice de Gaussen (**Figura 2**) estima que para el periodo histórico se tienen 4 meses no secos. Para el caso de los escenarios se sigue manteniendo esta relación. Sin embargo, lo apreciable es una reducción de agua disponible en el

mes de junio. En contraste, un incremento de agua disponible puede observarse en los meses de julio, agosto y septiembre.

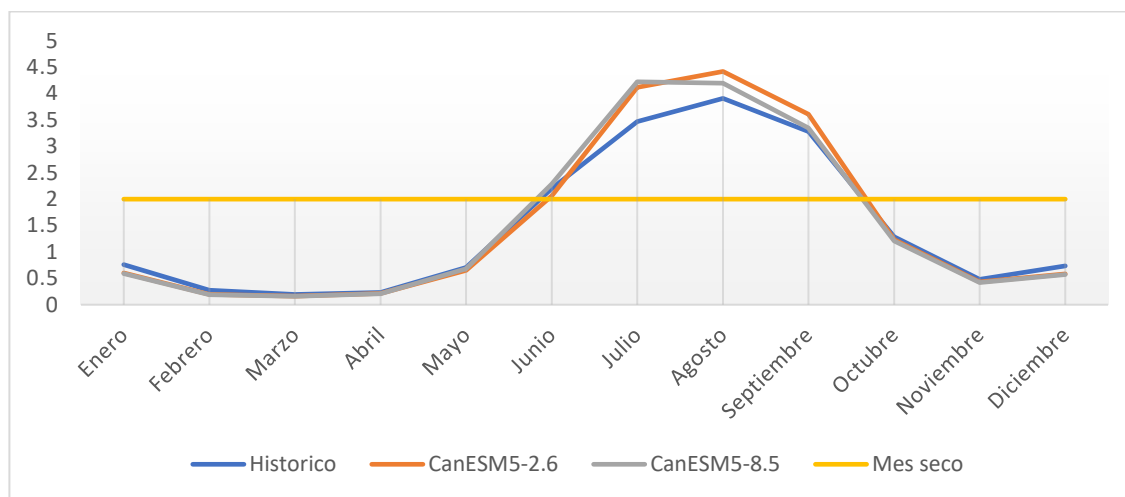


Figura 2. Índice de Gaussien para la línea base y los escenarios de cambio climático. Valores por debajo de “2” son considerados meses secos.

Los resultados obtenidos aplicando el índice de Martonne (**Figura 3**) varían con respecto a los del índice de Gaussien. En referencia a Martonne, el periodo histórico y el escenario canadiense con forzante de 2.6 señalan que solo tres meses no requieren de la aplicación de riego. Sin embargo, el escenario con forzante radiativa de 8.5 sugiere que 4 meses no requerirán de riego.

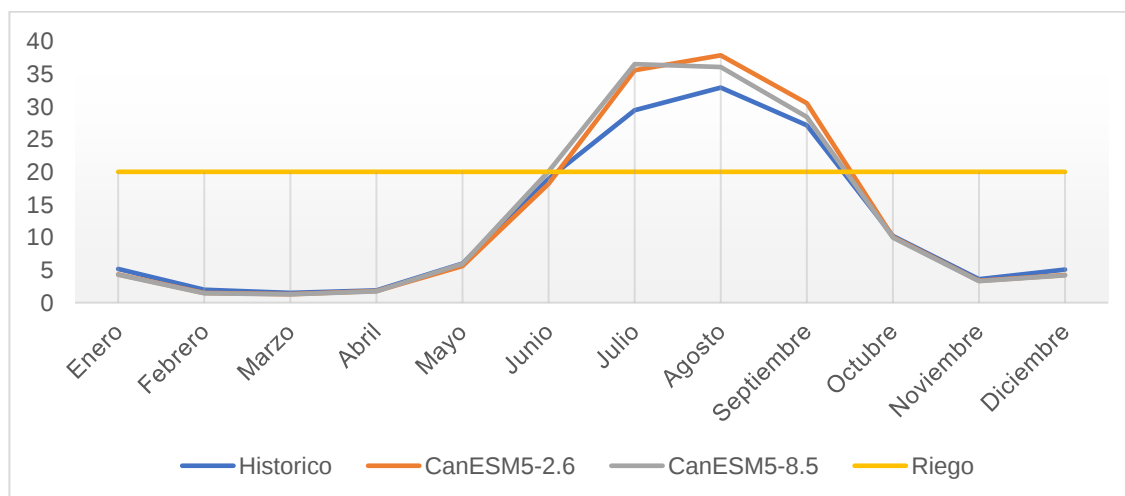
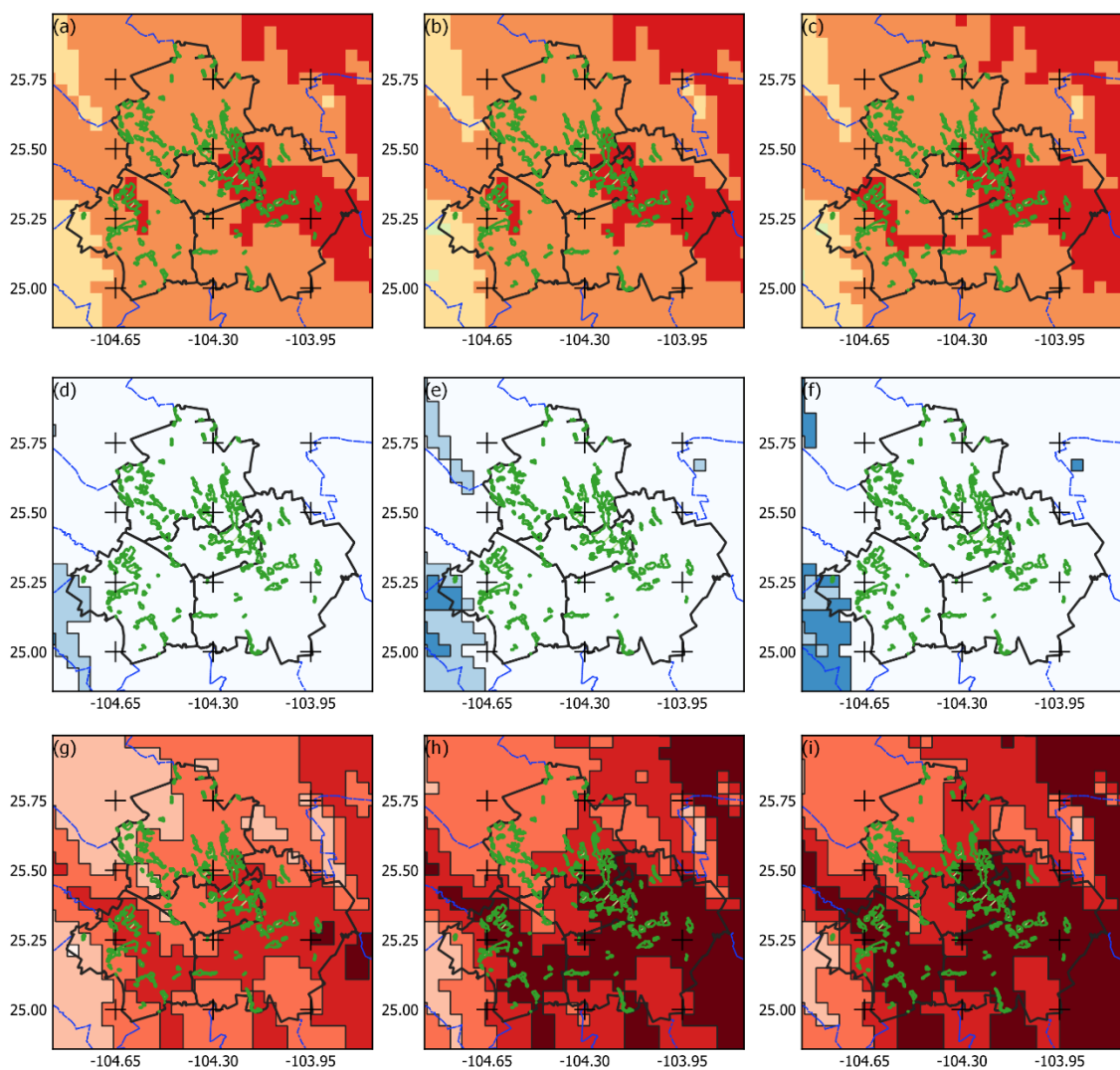


Figura 3. Índice de Martonne mensual para la línea base y los escenarios de cambio climático. En valores por debajo de “20” es necesario aplicar riego al suelo para mantener la producción agrícola

Clasificación climática

El primer componente de la clasificación de Thornthwaite es el régimen de humedad. Según los datos históricos y escenarios, toda la zona fue clasificada como área con clima seco. En el escenario histórico se indica que el 76.3% de la superficie es semiárida, 21.9% árida y 1.8% seca subhúmeda (**Figura 4a**). En el escenario canadiense con forzante de 2.6 podemos observar ligeras diferencias. La superficie semiárida presenta una disminución del 4.4%; este porcentaje se refleja en un 4% de aumento en las zonas áridas y un 0.4% de incremento en las zonas secas subhúmedas (**Figura 4b**). En el escenario con forzante de 8.5 la diferencia se acrecienta. En este caso las zonas semiáridas solo ocuparían el 69.2%; por otro lado, las zonas áridas se incrementarían hasta el 29%, mientras que las zonas secas subhúmedas mantendrían el 1.8% (**Figura 4c**).

El segundo componente de la clasificación de Thornthwaite es la variación estacional de la humedad. Los datos históricos indican que en el 98.9% de la zona existe un exceso pequeño o nulo de agua en el periodo estival mientras que en el 1.1% restante existe un exceso moderado (**Figura 4d**). El escenario con forzante de 2.6 indica que el 98.2% de la zona presenta un exceso pequeño, el 1% un exceso moderado y el 0.8% un exceso grande (**Figura 4e**). En contraste el escenario con forzante de 8.5 sugiere que se mantiene el área con exceso pequeño pero el área con exceso moderado se reduce a 0.55% y el área con exceso grande crece hasta 1.25% (**Figura 4e**).



Simbología

 Agricultura de secano

 Región de estudio

 Zona de influencia

Regimen de humedad (a, b, c)

 C1 (Seco subhúmedo)

 D (Semiárido)

 E (Árido)

Variación de la humedad (d, e, f)

 d (Exceso de agua estival pequeño)

 w (Exceso de agua estival moderado)

 w2 ((Exceso de agua estival grande)

Eficiencia térmica (g, h, i)

 A' (Megatérmico)

 B4' (Mesotérmico)

 B3' (Mesotérmico)

 B2' (Mesotérmico)

 B1' (Mesotérmico)

Figura 4. Variación de los elementos de la clasificación de Thorthwaite para la línea base (a, d y g) el escenario canadiense con forzante de 2.6 (b, e y h) y con forzante de 8.5 (c, f e i).

El tercer componente de la clasificación de Thornthwaite es la eficiencia térmica. Los datos históricos permiten clasificar el 99.1% del territorio como mesotérmico y el 0.9% como megatérmico. El escenario con forzante de 2.6 indica que las

zonas megartérmicas aumentan hasta el 41.9% del territorio, mientras que las mesotérmicas se reducen hasta 58.1%. El escenario con forzante de 8.5 sugiere que el incremento en las zonas megatérmicas es mayor llegando al 47.8% mientras que las zonas mesotérmicas ocuparían el 52.2% del territorio. El último componente se refiere a la eficiencia térmica en verano. Éste no presentó variación en su clasificación pues tanto para el histórico como los escenarios permaneció menor del 48%, valor que corresponde a la primera clasificación.

3.6.2 Sensibilidad

Las poblaciones de adultos mayores, analfabetas, sin acceso a servicios públicos y de salud son más vulnerables. En el **cuadro 2** se observa que algunas características de la población del área de estudio aumentan la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. En la RE existe una mayor cantidad de adultos mayores que a nivel nacional y estatal; además, el porcentaje de población analfabeta en la RE es mayor que a nivel estatal pero menor que a nivel nacional. En contraste, la población sin acceso a servicios públicos y de salud, así como el grado de marginación en la RE son menores que los promedios estatales y nacionales.

Cuadro 2. Comparación de variables socioeconómicas que aumentan la vulnerabilidad al impacto del cambio climático.

Variable	AE	Estatal	Nacional
Adultos mayores de 60 años	16.2%	11.4%	12%
Población analfabeta	2.7%	2.3%	3.8%
Promedio de escolaridad	8	9.7	9.7
Población sin acceso a drenaje, electricidad y agua potable.	5.7%	6.5%	7.3%
Población sin acceso a servicios de salud publica	23.4%	25%	26.18%
Grado de marginación	Bajo	Alto	-

Fuente: INEGI (2021).

3.6.3 Capacidad adaptativa

Análisis de confiabilidad

La interpretación del valor del Alfa de Cronbach se realizó conforme a lo sugerido por George & Marelly (2003). De acuerdo a estos autores el dominio 1 (Percepción de los productores acerca del cambio climático) tiene una confiabilidad aceptable (0.706). Por otro lado, el dominio 2 (Impactos negativos en la producción agrícola asociados a fenómenos meteorológicos) presentó una confiabilidad buena (0.855). El dominio 3 (Medidas de adaptación y mitigación a los impactos negativos del cambio climático aplicadas por los productores agrícolas) presentó una confiabilidad buena (0.889). Finalmente, el instrumento en general tuvo una confiabilidad buena (0.898).

Detonantes

Algunos factores que condicionan la aplicación de medidas de adaptación o mitigación existen; por ejemplo la percepción de un riesgo o las experiencias previas (Lutz-Ley, 2020). Los resultados obtenidos muestran que un 72.7% de los productores tienen una percepción fuerte o muy fuerte acerca del fenómeno del cambio climático. El 93% de los encuestados aseguró estar de acuerdo o completamente de acuerdo con que la temperatura de verano en los últimos 30 años es mayor que antes. Además, ese mismo porcentaje aseveró que en los últimos 30 años ha llovido menos que antes de 1990. Otro punto importante que obliga a los productores a adoptar medidas de adaptación y mitigación son los efectos adversos por fenómenos naturales. El 47.8% de los encuestados ha tenido afectaciones fuertes o muy fuertes. En este sentido, el 86% de los productores manifestó haber sufrido pérdida parcial o total de sus cultivos por falta de lluvias.

Medidas de adaptación y mitigación

Los resultados obtenidos demuestran que los productores prefieren aplicar medidas inmediatas y paliativas (Figura 3). Esto concuerda con lo expresado por Lutz-Ley (2020), quien menciona que en general las medidas se aplican más al

medio físico por su fácil manejo. Esta autora también menciona que el número y frecuencia de aplicación de medidas disminuyen en la dimensión social.

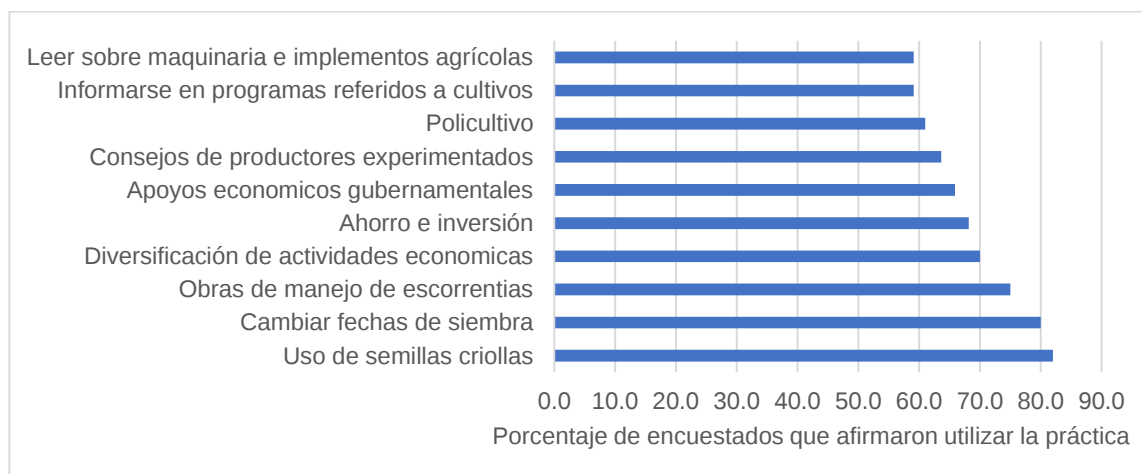


Figura 5. Las 10 prácticas de adaptación y mitigación al cambio climático más usadas por los productores agrícolas del área de estudio.

El capital social es el menos fortalecido de los estudiados. El 50% de los productores encuestados se clasificaron como débiles y muy débiles. En contraste, el capital financiero fue el más fortalecido. El 44% de los productores tuvieron clasificación de fuerte o muy fuerte en el capital financiero. El porcentaje de productores por nivel de clasificación para cada tipo de capital se puede observar en el Cuadro 3. Referente a las medidas para fortalecer el capital social, la más común fue recibir consejos de productores experimentados (63% de los encuestados). En relación al capital humano, 59% de los encuestados manifestaron ver programas de televisión con información referente a sus cultivos. El 70% de los productores fortalecen el capital financiero diversificando sus actividades productivas. Por otro lado, el 75% de los encuestados manifestaron realizar obras de manejo de escorrentías para mejorar sus activos fijos. Finalmente, el 82% de los productores utilizan semillas criollas para robustecer su capital natural.

Cuadro 3. Estado actual de los diferentes capitales de los productores agrícolas de secano del norte de Durango

Categoría	Tipo de capital				
	Social	Humano	Financiero	Activos fijos	Natural
Muy bajo	18%	27%	2%	7%	0%
Bajo	32%	14%	11%	20%	5%
Intermedio	39%	34%	43%	34%	64%
Alto	7%	16%	39%	25%	27%
Muy alto	5%	9%	5%	14%	5%

3.7 DISCUSIÓN

3.7.1 Exposición

Los resultados obtenidos de los modelos muestran una tendencia de incremento en la temperatura media. Esto puede tener consecuencias negativas en la producción agrícola de secano. Bhadouria et al. (2019) mencionan que la producción de los cereales en zonas secas puede reducirse si la temperatura media aumenta de 1 a 2 °C. Haque & Khan (2020) encontraron que por cada 1 °C que incrementa la temperatura media, el rendimiento de los cultivos puede disminuir entre un 7 y un 25 %. Para el caso del maíz se estima un decremento del 4.2% por cada 1 °C de aumento de la temperatura media (Makowski et al., 2020). Esto puede ser debido a que los cultivos son más sensibles y se encuentran más expuestos a las perturbaciones en la temperatura que provocan olas de calor, aumento de plagas y disminución de la tasa fotosintética, entre otros factores (Meshram et al., 2020; Warsame et al., 2021).

La precipitación es un factor clave en la agricultura de secano de las zonas áridas (Sangkhaphan & Shu, 2020). Para esta variable se estima un incremento para ambas forzantes que presenta diferencia significativa con respecto a los datos históricos. Un incremento en la precipitación puede incrementar el rendimiento de cereales a largo plazo (Warsame et al., 2021). Makowski et al. (2020) reportan que un aumento del 1% en la precipitación durante la temporada de crecimiento

incrementa el rendimiento de las plantas C3 entre 0.27% un 0.43%, sin embargo, para plantas C4 como el maíz el incremento es casi nulo.

3.7.2 Sensibilidad

Las condiciones de marginación y pobreza aumentan la sensibilidad a fenómenos hidrometeorológicos. Estos fenómenos limitan la capacidad de adaptación ante fenómenos diversos como las sequías (Ortega-Gaucin et al., 2018b). Las condiciones de sensibilidad y marginación son menores en el área de estudio que los niveles estatales y nacional. Por otro lado, autores como Amir et al. (2020) señalan que la educación es importante en la sensibilidad. Decisiones informadas y fundadas son necesarias para una agricultura resiliente (Espinosa-Rodríguez et al., 2021). La población del área de estudio presenta un promedio de escolaridad menor a los niveles estatal y nacional por lo que se espera que sea más sensible.

3.7.3 Capacidad Adaptativa

La producción agrícola es vulnerable a las variaciones del tiempo atmosférico (Gomez-Zavaglia et al., 2020). Los productores agrícolas son conscientes de los posibles impactos negativos provocados por estas variaciones y han desarrollado medidas de respuesta (Iizumi & Ramankutty, 2015; Ortega-Gaucin, et al., 2018b). Los resultados obtenidos muestran que los productores prefieren adoptar el uso de medidas de efecto a corto plazo como el uso de semillas criollas o el cambio en las fechas de siembra. Además, en una escala espacial, los productores prefieren aplicar medidas locales a nivel parcela como el policultivo o la diversificación de actividades productivas. Resultados similares han sido reportados por Khanal et al. (2021), Gebru et al. (2020), Talanow et al. (2021) y Orduño-Torres et al. (2020). Lutz-Ley (2020) explica que este comportamiento sucede debido a que, a estas escalas, los productores tienen un mayor control de las acciones.

Los resultados obtenidos también muestran un bajo fortalecimiento de los capitales social y humano. En estos existe una interacción entre el productor y la

sociedad e instituciones diversas a una escala regional. En este nivel el productor no tiene un control directo y por ello su fortalecimiento es reducido. Sin embargo, el fortalecimiento de estos capitales puede atraer efectos positivos a largo plazo (Lutz-Ley, 2020). Por ejemplo, Charatsari et al. (2020) reporta un efecto positivo del capital social en la innovación agrícola. Saptutyningsih et al. (2020) señala que el capital social tiene una gran influencia en la adopción de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. Además, el fortalecimiento de sociedades cooperativas facilita el acceso a insumos a mejores precios (Kansanga et al., 2019). Además, Huffman (2020) señala que los productores con un capital humano fortalecido tienen una mejor adopción de las nuevas tecnologías agrícolas.

3.8 CONCLUSIÓN

Los datos de los escenarios estiman un aumento en la temperatura en la zona de estudio. Por otro lado, un aumento en la precipitación es esperado. Este incremento en la precipitación podría compensar el aumento en la evapotranspiración de los cultivos por efecto de temperaturas más calientes. En ese sentido las estrategias de adaptación deberán encaminarse a mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico. Además, programas gubernamentales diversos deberán implementarse para promover la creación y fortalecimiento de organizaciones que faciliten la implementación de medidas con efectos benéficos a largo plazo. Los estudios futuros deberán encaminarse a identificar los factores que facilitan la organización y cooperación social para diseñar estrategias de acción.

3.9 AGRADECIMIENTOS

Al personal de los CADER de Nazas, Rodeo, San Luis del Cordero y San Pedro del Gallo por el apoyo con los datos de producción agrícola y padrón de productores. A los alumnos y egresados de URUZA que nos apoyaron con contactos para el trabajo de campo.

3.10 LITERATURA CITADA

- Amir, S., Saqib, Z., Khan, M. I., Ali, A., Khan, M. A., Bokhari, S. A., & Zaman-ul-Haq. (2020). Determinants of farmers' adaptation to climate change in rain-fed agriculture of Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06019-w>
- Anglés, H. M., & Maldonado, M. M. G. (2020). Capítulo V La sequía como determinante del desplazamiento climático. Una mirada desde México. In C. M. M. Pérez & V. E. Ortega (Eds.), *Migración forzada, derechos humanos y niñez* (pp. 111–130). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bhadouria, R., Singh, R., Singh, V. K., Borthakur, A., Ahamad, A., Kumar, G., & Singh, P. (2019). Agriculture in the Era of Climate Change: Consequences and Effects. In C. K. Kumar, A. Kumar, & S. A. Kishor (Eds.), *Climate Change and Agricultural Ecosystems* (pp. 1–23). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816483-9.00001-3>
- CENAPRED. (2021). *Sequías*. México, CNPC.
- Charatsari, C., Lioutas, E. D., & Koutsouris, A. (2020). Farmer field schools and the co-creation of knowledge and innovation: the mediating role of social capital. *Agriculture and Human Values*, 37(4), 1139–1154. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10115-8>
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (Eds.) (2018). *World Atlas of Desertification*, Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- Coles, N. A., & Eslamian, S. (2017). Definition of Drought. In S. Eslamian & F. Eslamian (Eds.), *Handbook of Drought and Water Scarcity* (pp. 1–11). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781315404219-1>
- CONAGUA. (2012). Analisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/sequiasB.pdf>
- Crossman, N. D. (2019). *Drought Resilience, Adaptation and Management Policy Framework: Supporting Technical Guidelines*. UNCCD. <https://www.unccd.int/publications/drought-resilience-adaptation-and-management-policy-framework-supporting-technical>
- Espada-Recarey, L., Martínez-Cacharrón, V. M., Iradiel-Sánchez, J., Sobrino-Balboa, J. L., Rey González, G., Cabral, G., Comesaña-Romero, M., Cuadrado-Rodríguez, D., González-Rodríguez, I., Pérez-Quintero, C. R.,

- & Rodríguez-Rodríguez, F. J. (2016). *Percepción de la ciudadanía viguesa sobre el cambio climático*. Concello de Vigo. http://hoxe.vigo.org/pdf/valedorcidadan/percepcion_cc.pdf
- Espinosa-Rodríguez, L. M., Alcántara-Aguilar, A., & Hernández-Santana, J. R. (2021). Vulnerabilidad agrícola por sequía: propuesta y validación metodológica para el estado de México. *Papeles de Geografía*, 66(66), 177–194. <https://doi.org/10.6018/geografia.409401>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. (Vol. 32). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- FAO. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
- FAO. (2022). Pandemia del COVID-19, su impacto en la alimentación y la agricultura. Nueva Enfermedad Por Coronavirus (COVID-19). <https://www.fao.org/2019-ncov/q-and-a/impact-on-food-and-agriculture/es/>
- Feng, S., & Fu, Q. (2013). Expansion of global drylands under a warming climate Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems Expansion of global drylands under a warming climate Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, 13, 14637–14665. <https://doi.org/10.5194/acpd-13-14637-2013>
- Gädicke, R. J., Ibarra, P. P., & Osses, B. S. (2017). Evaluación de las percepciones medioambientales en estudiantes de enseñanza media de la ciudad de Temuco, Región de La Araucanía. *Estudios Pedagogicos*, 43(1), 107–121. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052017000100007>
- García, E. (1964). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana)*. Offset Larios. <https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf>
- Gebbru, G. W., Ichoku, H. E., & Phil-Eze, P. O. (2020). Determinants of smallholder farmers' adoption of adaptation strategies to climate change in Eastern Tigray National Regional State of Ethiopia. *Heliyon*, 6(7), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04356>
- George, S., & Mallery, L. (2003). Alfa de Cronbach y consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. *Revista de estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 3(16), 3-9.
- Gomez-Zavaglia, A., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2020). Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. *Food*

- Haque, M. I., & Khan, M. R. (2020). Impact of climate change on food security in Saudi Arabia: a roadmap to agriculture-water sustainability. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*. <https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2020-0127>
- Haro, A., Mendoza-Ponce, A., Calderón-Bustamante, Ó., Velasco, J. A., & Estrada, F. (2021). Evaluating Risk and Possible Adaptations to Climate Change Under a Socio-Ecological System Approach. *Frontiers in Climate*, 3(June), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.674693>
- Hermans, K., & McLeman, R. (2021). Climate change, drought, land degradation and migration: exploring the linkages. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.013>
- Hidalgo, M. C., & Pisano, I. (2010). Predictores de la percepción de riesgo y del comportamiento ante el cambio climático . Un estudio piloto. *Psycology*, 1(1), 39–46.
- Huang, H., Winter, J. M., Osterberg, E. C., Horton, R. M., & Beckage, B. (2017). Total and extreme precipitation changes over the Northeastern United States. *Journal of Hydrometeorology*, 18(6), 1783–1798. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0195.1>
- Huffman, W. E. (2020). Human Capital and Adoption of Innovations: Policy Implications. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(1), 92–99. <https://doi.org/10.1002/aepp.13010>
- Iizumi, T., & Ramankutty, N. (2015). How do weather and climate influence cropping area and intensity? *Global Food Security*, 4, 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>
- INEGI. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press.
- Kansanga, M. M., Luginaah, I., Bezner Kerr, R., Lupafya, E., & Dakishoni, L. (2019). Beyond ecological synergies: examining the impact of participatory agroecology on social capital in smallholder farming communities.

International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 27(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/13504509.2019.1655811>

- Khanal, U., Wilson, C., Rahman, S., Lee, B. L., & Hoang, V. N. (2021). Smallholder farmers' adaptation to climate change and its potential contribution to UN's sustainable development goals of zero hunger and no poverty. *Journal of Cleaner Production*, 281, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124999>
- Lobato-Sánchez, R. (2016). El monitor de la sequía en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(5), 197–211.
- Lutz-Ley, A. N. (2020). Human adaptation to global change in rural communities of Mexico. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 44, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.011>
- Makowski, D., Marajo-Petitzon, E., Durand, J. L., & Ben-Ari, T. (2020). Quantitative synthesis of temperature, CO₂, rainfall, and adaptation effects on global crop yields. *European Journal of Agronomy*, 115(2020), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126041>
- Meshram, S. G., Kahya, E., Meshram, C., Ghorbani, M. A., Ambade, B., & Mirabbasi, R. (2020). Long-term temperature trend analysis associated with agriculture crops. *Theoretical and Applied Climatology*, 140(3–4), 1139–1159. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03137-z>
- Muralikrishnan, L., Padaria, R. N., Choudhary, A. K., Dass, A., El-Abedin, T. K. Z., Abdelmohsen, S. A. M., Mahmoud, E. A., & Elansary, H. O. (2022). Climate Change-Induced Drought Impacts , Adaptation and Mitigation Measures in Semi-Arid Pastoral and Agricultural Watersheds. *Sustainability*, 14(6). <https://doi.org/doi.org/10.3390/su14010006>
- 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>
- Neri, C., & Magaña, V. (2016). Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico. *Weather, Climate, and Society*, 8(2), 95–110. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-15-0005.1>
- 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, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105031>
- Ortega-Gaucin, D., Bartolón, J. de la C., & Bahena, H. V. C. (2018a). Drought

- vulnerability indices in Mexico. *Water (Switzerland)*, 10(11).
<https://doi.org/10.3390/w10111671>
- Ortega-Gaucin, D., Castellano, H. V., & De La Cruz, J. (2018b). Economic, social and environmental vulnerability to drought in the northwest river basin system, Mexico. *International Journal of Environmental Impacts: Management, Mitigation and Recovery*, 1(3), 240–253.
<https://doi.org/10.2495/ei-v1-n3-240-253>
- Quinn, R. (2021). *Nitrogen Fertilizers Lead Pack of Retail Fertilizer Prices Higher at Start of December 2021*. DTN Retail Fertilizer Trends.
<https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/crops/article/2021/12/08/nitrogen-fertilizers-lead-pack-start>
- Richardson, K. J., Lewis, K. H., Krishnamurthy, P. K., Kent, C., Wiltshire, A. J., & Hanlon, H. M. (2018). Food security outcomes under a changing climate: impacts of mitigation and adaptation on vulnerability to food insecurity. *Climate Change*, 147, 327–341.
<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2137-y>
- Sangkhaphan, S., & Shu, Y. (2020). The Effect of Rainfall on Economic Growth in Thailand: A Blessing for Poor Provinces. *Economies*, 8(1), 1–17.
<https://doi.org/10.3390/economies8010001>
- Saptutyningsih, E., Diswandi, D., & Jaung, W. (2020). Does social capital matter in climate change adaptation? A lesson from agricultural sector in Yogyakarta, Indonesia. *Land Use Policy*, 95, 1–5.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104189>
- Secretaría de Salud. (2022). *Covid-19 México*. Datos Abiertos.
<https://datos.covid-19.conacyt.mx/>
- Seleiman, M. F., Selim, S., Alhammad, B. A., Alharbi, B. M., & Juliatti, F. C. (2020). Will novel coronavirus (COVID-19) pandemic impact agriculture, food security and animal sectors? *Bioscience Journal*, 36(4), 1315–1326.
<https://doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-54560>
- Shah, H., Hellegers, P., & Siderius, C. (2021). Climate risk to agriculture: A synthesis to define different types of critical moments. *Climate Risk Management*, 34, 100378. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100378>
- SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SMN. (2022, 4 febrero). *Monitor de Sequía en México*. Gobierno de México. Recuperado 17 de febrero de 2022, de
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- Talanow, K., Topp, E. N., Loos, J., & Martín-López, B. (2021). Farmers' perceptions of climate change and adaptation strategies in South Africa's Western Cape. *Journal of Rural Studies*, 81, 203–219. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.026>
- Vilaboa-Arroniz, J., Platas-Rosado, D. E., & Zetina-Córdoba, P. (2021). El reto del sector rural de México ante la Covid-19. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 66(242), 419–442. <https://doi.org/10.22201/fcpys.2448492xe.2021.242.77322>
- Warsame, A. A., Sheik-Ali, I. A., Ali, A. O., & Sarkodie, S. A. (2021). Climate change and crop production nexus in Somalia: an empirical evidence from ARDL technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19838–19850. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11739-3>

CAPITULO IV

4 ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL RECURSO EDÁFICO EN ZONAS AGRÍCOLAS DE SECANO DEL NORTE DE DURANGO MÉXICO

4.1 RESUMEN

La agricultura de secano cubre el 80% del agrícola en el mundo. Sin embargo, ésta se encuentra expuesta a condiciones limitantes para como sequías o erosión del suelo. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el estado de conservación de las parcelas de secano del norte del estado de Durango y su posible impacto en la producción agrícola. Para ello, un cuestionario fue aplicado usando el método Kappa con dos observadores. Además, un análisis de la producción agrícola en la zona y un análisis de aptitud productiva para el principal cultivo (maíz) se realizaron. Los resultados muestran que en el 88.6% de las parcelas hubo algún grado de erosión siendo dominante la hídrica. Por otro lado, el potencial productivo de maíz en las zonas secaneras fue bueno y medio debido principalmente a sus propiedades edáficas. La precipitación es la principal limitante para la producción de este cultivo; por tal razón, los productores prefieren aplicar prácticas para manejar escorrentías y no para conservar el suelo. Por lo tanto, un cambio en la actitud de los productores hacia la conservación del suelo es necesario para garantizar expectativa positiva en el futuro.

Palabras clave: Erosión del suelo, Maíz, potencial productivo, Kappa

4.2 ABSTRACT

Rainfed agriculture covers almost 80% of the agricultural area. However, this activity is exposed to limiting conditions such as droughts or soil erosion. Therefore, this work aimed to evaluate the conservation status of rainfed parcels in the north of the Durango state and its potential impact on agricultural production. For this, a questionnaire was applied using the Kappa method and two observers. In addition, analyses of historic production and productive aptitude for maize (as the main crop) were performed. Results showed that 88.6% of plots are eroded and that hydric erosion is dominant. On the other hand, the productive potential in the area was classified as "good" or "moderately good" due mainly to the soil properties. Precipitation is the main limiting factor for maize production;

for this reason, growers prefer using runoff management practices instead of soil conservation measures. Therefore, a change in rainfed growers' attitude toward soil conservation is necessary to warranty positive expectations in the future.

Keywords: Soil erosion, maize, productive potential, Kappa

4.3 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la actividad agrícola de secano ocupa el 80% de las superficies cultivadas y aporta el 60% de la producción agrícola (FAO, 2020). Sin embargo, la producción futura es incierta debido a los efectos del cambio climático. Adicionalmente, la degradación del recurso edáfico debido a prácticas agrícolas inadecuadas o al uso de terrenos no aptos agrava el problema (FAO, 2021b).

En México, el 16% de la superficie con agricultura de secano presenta algún tipo y grado de erosión (Cotler et al., 2019); problema que se acrecienta en zonas áridas montañosas. Sin embargo, López-Santos (2016) advierte que los diversos estudios de erosión en México presentan diferencias importantes en sus resultados; esto implica interpretaciones diversas del problema.

En el estado de Durango, el 76% de la superficie que se cosecha corresponde a secano (SIAP, 2022); destacando los cultivos de maíz, avena y frijol (SIAP, 2019). Sin embargo, de las 530,000 ha de secano, 170 mil (32%) presentan erosión (Cotler et al., 2020; SIAP, 2022); adicionalmente el 54% del territorio presenta clima seco (INEGI, 2017) aumentando la sensibilidad al impacto de la erosión (Hermans & McLeman, 2021).

El impacto socioeconómico y ambiental de la erosión del suelo es variable. Este dependerá de las características de la zona, así como de las medidas de remediación y resiliencia de los productores (Nicholls et al., 2015). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar el estado de conservación que presentan los recursos edáficos que emplean los productores de la Unidad de Estudio y su posible impacto sobre la producción agrícola de secano.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en los municipios de Nazas (24.95° a 25.60° N, 103.77° a 104.40° O), Rodeo (24.95° a 25.43° N, 104.35° a 104.82° O), San Luis del Cordero (25.40° a 25.52° N, 104.12° a 104.55° O) y San Pedro del Gallo (25.38° a 25.90° N, 104.13° a 104.67° O) del Estado de Durango. La superficie total de éstos cuatro municipios es de 6275.26 km² (**figura 6a**). El clima dominante es tipo B (seco) y presenta cinco subtipos siendo los más dominantes BWhw (43.58%), BSokw (26.65%), Bsohw (20.97%) (**figura 6c**). Por otro lado, diez grupos de suelo se presentan en el área de estudio; de los cuales los Leptozoles (50.4%), Calcisoles (17.8%) y Regosoles (13.3%) son los más comunes. La zona es atravesada por los Ríos del Peñón y Nazas. El área presenta distintos tipos de vegetación entre ellos el matorral desértico rosetófilo (34.80%), matorral desértico microfilo (28.28%) y vegetación secundaria (5.46%). El uso de suelo predominantemente es agricultura de secano (6.38%), agricultura de riego (1.82%) y pastizal inducido (1.03%).

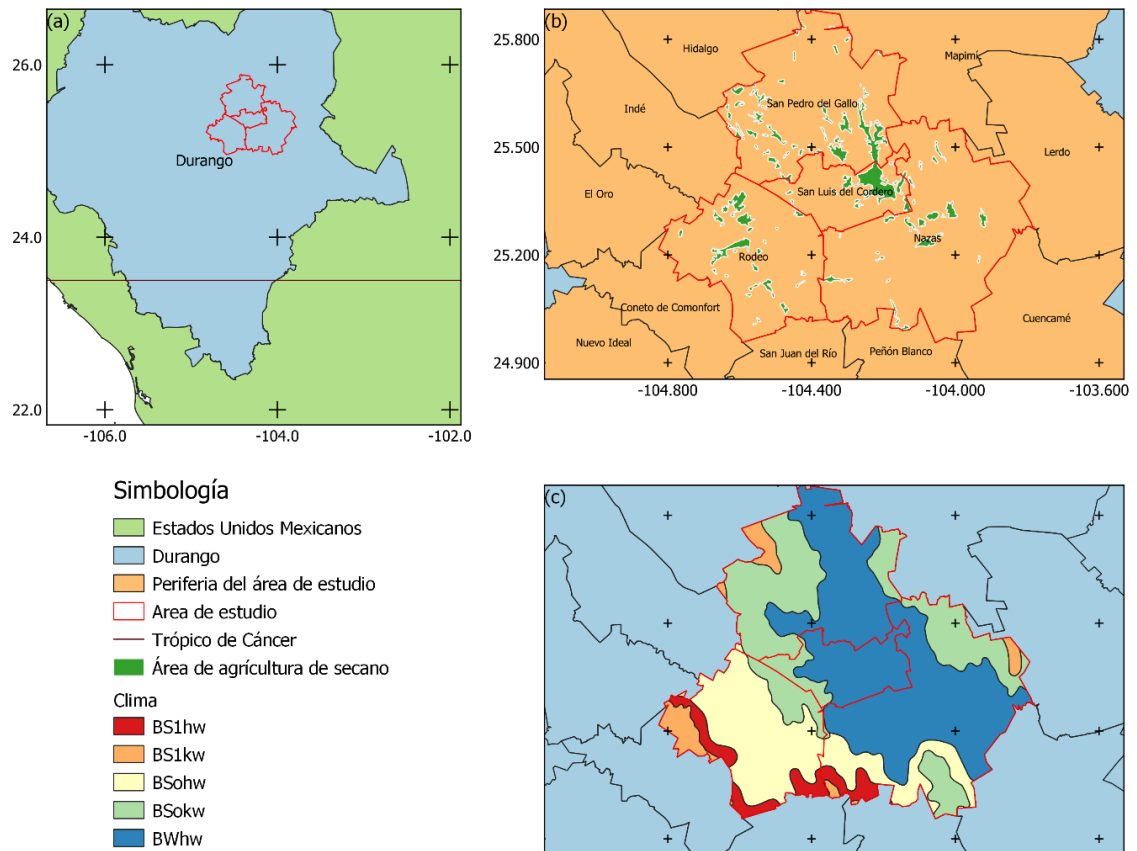


Figura 6. Localización del área de estudio (a), colindancias y polígonos de agricultura de secano (b) y subtipos de clima presentes (c).

4.4.2 Evaluación del estado actual del recurso edáfico

Elaboración del instrumento de campo

El manual de WOCAT (2008) para inventarios de suelos fue utilizado como base para la elaboración del instrumento de campo. En este instrumento, tres categorías de indicadores de estado y una de indicadores de respuesta fueron consideradas. Además, un entrenamiento visual fue realizado para identificar las características de cada indicador de estado o respuesta utilizando las guías de CONAFOR (2018) y FAO (2021). Los indicadores seleccionados, así como su descripción realizada con los datos de CONAFOR (2018), FAO (2021) y WOCAT (2008) se enlistan a continuación:

Tipo de degradación del suelo (Indicador de estado)

- 1₁ Sin degradación aparente:
- 1₂ Erosión hídrica: Pérdida o arrastre de suelo superficial por acción del agua.
- 1₃ Erosión eólica: Pérdida o arrastre de suelo superficial por acción del viento
- 1₄ Erosión química: Polución, salinización, alcalinización, acidificación.
- 1₅ Erosión química: Compactación, encostramiento, anegamiento y hundimiento.
- 1₆ Degradación biológica: Aumento de suelo desnudo, disminución de biomasa, disminución de micro y macroorganismos.

Grado de degradación del suelo (Indicador de estado)

- 2₁ Leve: El proceso se encuentra en su etapa inicial, es poco perceptible, por lo que puede revertirse con poco esfuerzo. Presencia de canalillos.
- 2₂ Moderado: La degradación es fácil de identificar, su control y reversión requieren un esfuerzo considerable. Canalillos o cárcavas pequeñas están presentes.
- 2₃ Fuerte: Signos de cambios severos en las propiedades del suelo se aprecian, el proceso de restauración y control es muy difícil. Cárcavas de diversos tamaños están presentes.
- 2₄ Extremo: En este punto ya no es posible una restauración. Cárcavas profundas están presentes.

Causas de la degradación del suelo (Indicador de estado)

- 3₁ Manejo del suelo: Uso de especies no adecuadas, prácticas inadecuadas.
- 3₂ Manejo del cultivo: Falta de medidas de conservación, maquinaria pesada, salinización.

- 3₃ Deforestación y remoción de la vegetación natural: Cambio de uso de suelo, construcción de caminos, explotación forestal industrial.
- 3₄ Sobreexplotación de la vegetación por uso doméstico: Extracción de leña o forraje para uso doméstico.
- 3₅ Sobrepastoreo: Remoción de cobertura vegetal, arrastre y compactación del suelo por ganado.
- 3₆ Actividades industriales y minería: Extracción de minerales y depósito de residuos.
- 3₇ Desarrollo urbanístico e infraestructura: Presencia de asentamientos humanos.
- 3₈ Descargas: efluentes y aguas residuales.
- 3₉ Alteración de los ciclos hidrológicos: Modificación de las escorrentías.
- 3₁₀ Causas naturales: Topografía accidentada, lluvias intensas, sequías, vientos fuertes.

Medidas de conservación (Indicador de respuesta)

- 4₁ Abonos / Composta / Manejo de nutrientes: Presencia de abonos verdes, abonos orgánicos o compostas.
- 4₂ Sistemas de rotación / cambio de cultivos / barbechos: Rotación de cultivos y del manejo del suelo (periodos intensivos y no intensivos).
- 4₃ Desmonte vegetativo / cobertura: Muros de contención desmontando especies de gramíneas y leguminosas.
- 4₄ Agrosilvicultura: Sinergia entre un sistema agrícola, un pecuario y un forestal.
- 4₅ Reforestación y protección forestal: Reforestación y cuidado de especies nativas.
- 4₆ Control de cárcavas / rehabilitación: Uso de barreras para frenar la erosión en las cárcavas.
- 4₇ Terrazas: Uso de terrazas
- 4₈ Manejo de las tierras con pasturas: Presencia de cercados para regular el tiempo e intensidad del pastoreo.

- 4₉ Obras de captación del agua: Estructuras para colecta de agua de lluvia.
- 4₁₀ Mejoramiento de la calidad del agua: Trampas de sedimentación y filtros en las escorrentías
- 4₁₁ Protección contra los riesgos naturales: Protección contra inundaciones, tormentas, derrumbes entre otros.
- 4₁₂ Control de las aguas generadas por tormentas y escorrentías: Obras para el control de escorrentías en eventos de lluvia.

Aplicación del instrumento de campo

El número de parcelas a muestrear (**Ec. 1**) fue determinado previo a las visitas. Posteriormente, las parcelas fueron seleccionadas al azar y se cargó su ubicación en un geoposicionador (GPS) para su visita. Dos aplicadores hicieron el levantamiento de datos en parcelas siguiendo el método Kappa (López-Santos et al., 2017). Recorridos de campo se hicieron para el llenado de los formatos de capo.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 (N - 1) + Z^2 * p * q} = 44, \quad (1)$$

donde: n es el tamaño de muestra; N el tamaño de la población (2006 parcelas); Z es valor crítico calculado en las tablas del área de la curva normal (1.96 para una confiabilidad de 95%); p es proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (0.97); q es (1-p) = 0.03; y d es el nivel de precisión absoluta (0.05).

Análisis de datos

Los datos de las encuestas fueron organizados y analizados utilizando el software IBM® SPSS Statistics 21. El índice Kappa, el error típico, la significancia y el grado de acuerdo fueron calculados para cada indicador. Finalmente, los porcentajes de concordancia y no concordancia de cada indicador se calcularon mediante el uso de tablas cruzadas.

4.4.3 Aptitud productiva

Los datos históricos de producción fueron revisados. Con ello se encontró que el principal cultivo de secano es el maíz (SIAP, 2022); por lo tanto, lo que se determinó es la aptitud productiva del terreno para dicho cultivo. La aptitud se determinó utilizando la técnica Simple Miltiattribute Rating Technique (SMART) (Risawandi & Rahim, 2017).

Selección y estandarización de variables

Para definir la aptitud ambiental se tomaron como base los requerimientos edafoclimáticos presentados por FAO, (2021a), SIAP-SADER (2018) y Sotelo Ruiz et al. (2016). Estas variables de aptitud tienen una clasificación categórica ordinal. Por ello una escala discreta se consideró la para estandarización (clases) empleando una clasificación directa y poder asignarle un valor de aptitud a cada clase (Goodwin & Wright, 2014).

Los datos de las variables utilizadas (cuadro 4) fueron obtenidos del INEGI (<https://www.inegi.org.mx/temas/>) para datos edáficos; y del sitio de WorldClim (<https://worldclim.org/>) para datos climáticos en formato ráster. Los datos fueron estandarizados de acuerdo a las categorías que se mencionan en el **cuadro 4**. Los datos fueron procesados y reclasificados en el software QGis versión 3.16 Hannover.

Análisis de datos

La aptitud productiva fue determinada utilizando una combinación lineal ponderada (Ec. 2).

$$Ap = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (2)$$

donde Ap es la aptitud del terreno para el cultivo de maíz, w_i es el coeficiente de ponderación para la i-esima variable edafoclimática (Ec.3) y x_i es el valor de la i-esima variable.

$$w = \frac{1}{\sigma_i \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i} \right)} \quad (3)$$

donde w es el coeficiente de ponderación de la variable edafoclimática y σ_i es la desviación estándar para la i -ésima variable.

Los archivos ráster fueron combinados en Qgis en función de su coeficiente de ponderación (cuadro 4). Los resultados fueron reclasificados de acuerdo al nivel de aptitud (bueno, medio, bajo, no apto) y transformados a polígonos. Estos polígonos fueron combinados con la superficie de agricultura de secano y se comparó la superficie cultivada actual vs la potencial.

Cuadro 4. Categorías, intervalos y peso de las variables utilizadas para definir la aptitud ambiental del cultivo de maíz.

Variable	Categoría	Intervalo	Coeficiente de ponderación
Temperatura (°C)	Bueno	18-24	0.21
	Medio	14-18 y 24-26	
	Bajo	10-14 y 26-33	
	No apto	<10 y >33	
Precipitación (mm)	Bueno	700-1300	0.15
	Medio	480-700 y 1300-1500	
	Bajo	400-480 y 1500-1600	
	No apto	<400 y >1600	
Altitud (m)	Bueno	1200-2700	0.16
	Medio	0-1200	
	Bajo	2700-2900	
	No apto	>2900	
Fases físicas y químicas	Bueno	Sin fases	0.11
	Medio	Dúrica profunda	
	Bajo	Lítica profunda, Petrocálcica y dúrica	
	No apto	Gravosa, Pedregosa y lítica Salina y Sódica	
Textura	Bueno	Media	0.28
	Medio	Fina	
	Bajo	Gruesa	
Pendiente (%)	Bueno	0-15	0.08
	Medio	15-30	
	Bajo	30-40	
	No apto	>40	

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Estado de conservación del suelo

En 4.5% de las parcelas muestreadas hubo evidencia de degradación nula; en 88.6% hubo acuerdo en la presencia del algún tipo de erosión y en el 8.6% restante no hubo acuerdo. Respecto al tipo de degradación, la erosión hídrica se apreció en 70.5% de las parcelas, la erosión eólica en 20.5%, la degradación química en 0%, la degradación física en 27.3% y la degradación biológica en 2.3%. Sin embargo, para los casos de las degradaciones química y biológica se presentó una alta discordancia de 60% y 75%, respectivamente.

En relación con el grado de degradación del suelo se coincidió que 31.8% de las parcelas presentan erosión leve, 22.6% moderada, 2.3% fuerte y 0% extrema. Los porcentajes restantes se refieren a las parcelas que no presentaron erosión aparente y a aquellas en las que no se tuvo acuerdo.

Respecto a las causas de la erosión existe incertidumbre en cuatro causas posibles, deforestación, sobreexplotación para uso humano, sobrepastoreo y alteración del ciclo hidrológico. En general, tres causas son las principales de la degradación del suelo: 1) manejo del suelo (68%), 2) manejo del cultivo (20.5%) y 3) causas naturales (18.2%). Las demás listadas no se presentan o se presentan en solo una o dos de las parcelas muestreadas.

Finalmente, algunas medidas en respuesta a la erosión fueron identificadas. Los resultados obtenidos mostraron alta incertidumbre en los índices 4₁, 4₂, 4₄, 4₆, 4₈ y 4₁₀. Por otro lado, tres técnicas fueron las más aplicadas, terrazas (31.8%), restauración forestal (18.2%) y control de escorrentías (18.2%). Los resultados del análisis de confiabilidad se encuentran en el **cuadro 5**.

Cuadro 5. Resultados del análisis Kappa a los indicadores utilizados y nivel de acuerdo.

Índice	IK	ET	T	SGF	Acuerdo
1.- Tipo de degradación del suelo (Indicador de estado)					
1 ₁	0.542	0.227	4.043	0.000	Moderado
1 ₂	0.457	0.154	3.318	0.001	Moderado
1 ₃	0.216	0.094	2.069	0.039	Mediano
1 ₄	0.043	0.033	1.063	0.288	Bajo
1 ₅	0.270	0.080	3.541	0.000	Mediano
1 ₆	0.006	0.064	0.104	0.917	Bajo
2.- Grado de degradación del suelo (Indicador de estado)					
2 ₁	0.279	0.142	1.879	0.06	Mediano
2 ₂	0.249	0.147	1.662	0.096	Mediano
2 ₃	0.257	0.209	2.546	0.011	Mediano
2 ₄	0.365	0.286	2.480	0.013	Mediano
3.- Causas de la degradación del suelo (Indicador de estado)					
3 ₁	0.565	0.144	3.814	0.000	Moderado
3 ₂	0.241	0.106	2.180	0.029	Mediano
3 ₃	0.011	0.131	0.086	0.932	Bajo
3 ₄	-0.058	0.023	-5.320	0.595	Sin acuerdo
3 ₅	0.106	0.119	0.866	0.387	Bajo
3 ₆	0.476	0.316	3.159	0.002	Moderado
3 ₇	0.365	0.286	2.480	0.013	Mediano
3 ₈	0.476	0.316	3.159	0.002	Moderado
3 ₉	-0.091	0.039	-0.697	0.486	Sin acuerdo
3 ₁₀	0.293	0.097	2.781	0.005	Mediano
4.- Medidas de conservación (Indicador de respuesta)					
4 ₁	0.165	0.104	1.567	0.117	Bajo
4 ₂	-0.099	0.141	0.916	0.360	Sin acuerdo
4 ₃	0.254	0.160	2.346	0.019	Mediano
4 ₄	-0.023	0.016	-1.540	0.877	Sin acuerdo
4 ₅	0.475	0.131	3.472	0.001	Moderado
4 ₆	0.042	0.041	0.967	0.334	Bajo
4 ₇	0.454	0.106	3.596	0.000	Moderado
4 ₈	0.060	0.135	0.521	0.602	Bajo
4 ₉	0.642	0.234	4.260	0.000	Sustancial
4 ₁₀	-0.048	0.027	-4.330	0.665	Sin acuerdo
4 ₁₁	0.564	0.193	4.945	0.000	Moderado
4 ₁₂	0.432	0.122	3.363	0.001	Moderado

IK: índice Kappa; ET: error típico, T: valor aproximado de T, SGF: significancia estadística.

4.5.2 Aptitud productiva

El análisis de la producción histórica para el área de estudio muestra que de 2003 a 2020 se sembraron en promedio 10200 ha de secano. De esa cantidad aproximadamente 7000 ha o 69% corresponden a maíz grano (Figura 7). Anualmente 4000 ha de maíz son cosechadas, es decir aproximadamente 43% del territorio se siembra.

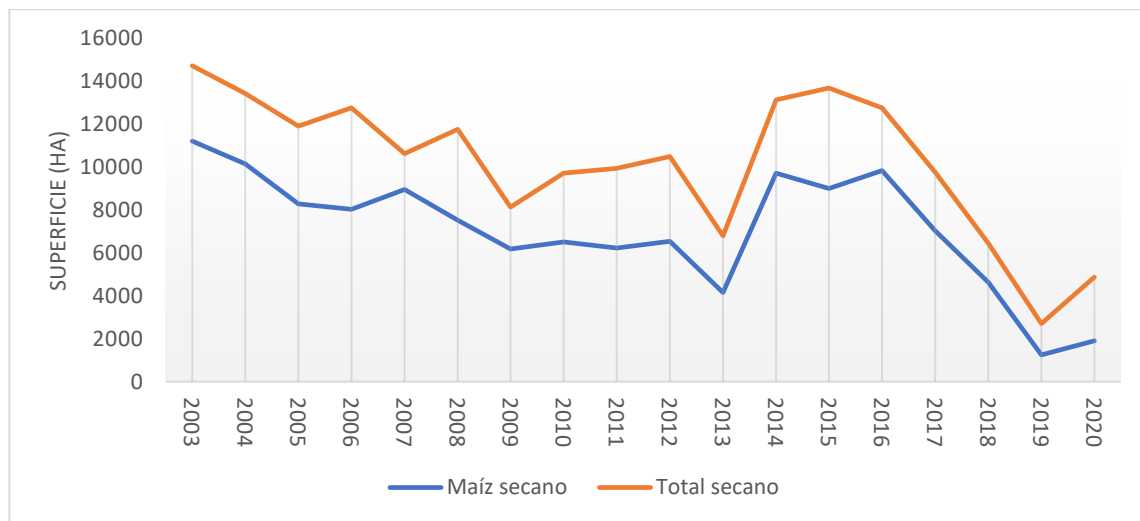


Figura 7. Comportamiento histórico de la superficie total de secano y la superficie de maíz de secano para el área de estudio.

En contraste con lo anterior los datos de uso de suelo y vegetación de la serie VI del INEGI tienen cartografiada un área de agricultura secano de 40,000 ha. Esto puede tener implicaciones diversas; por ejemplo, que anualmente no se siembra el total de la superficie de secano, que existen terrenos abandonados y en los que se ha hecho un cambio de uso de suelo o que el modelo del INEGI sobreestima las dimensiones. En análisis de aptitud (figura 2) muestra que en las 40,000 de agricultura secano consideradas por INEGI solo se encuentran zonas catalogadas como Buenas y Medias; aproximadamente 25,500 ha corresponden a una clasificación de buena; en contraste, solo 15,500 tienen una aptitud media. En general, las condiciones edáficas son propicias para el desarrollo del cultivo, sin embargo, los valores de precipitación en el área son pequeños y juegan un rol limitante en el desarrollo del cultivo y la producción de cosecha.

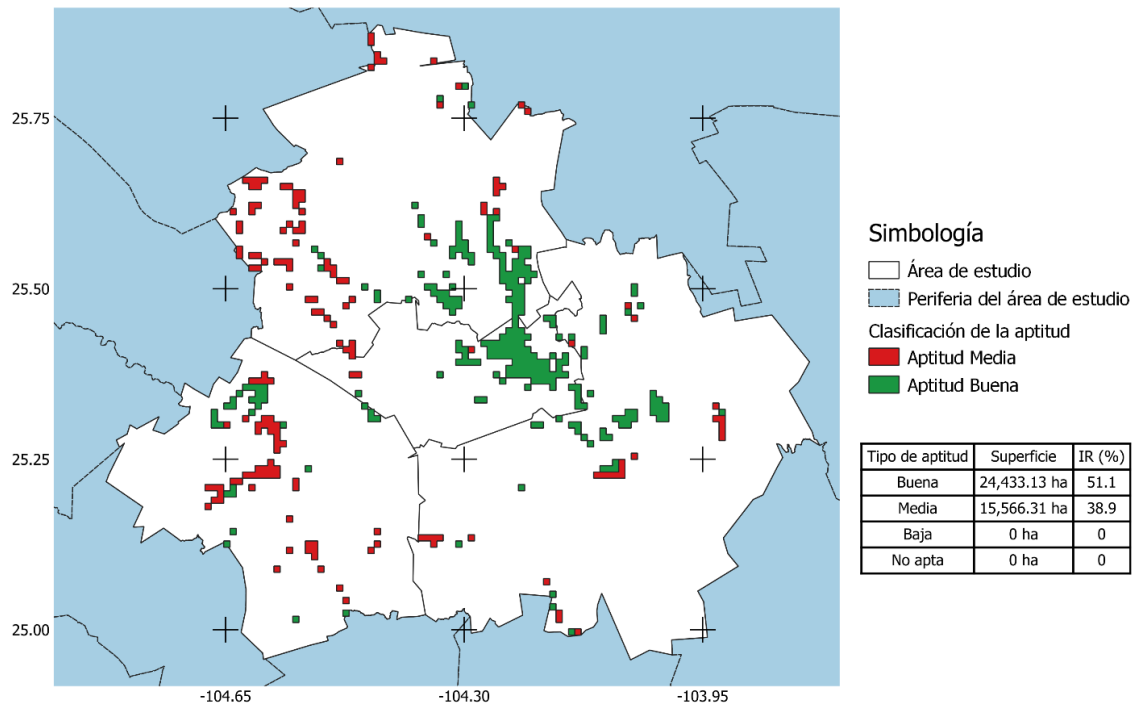


Figura 8. Clasificación de la aptitud productiva para maíz en las zonas de agricultura de secano en área de estudio.

4.6 DISCUSIÓN

El nivel de precipitación anual es clasificado como no apto y con aptitud baja en la mayoría del área agrícola de secano. Kogo et al. (2019) mencionan que la precipitación juega un rol determinante en la producción del cultivo de maíz; debido a que el déficit hídrico es el estresor de mayor importancia a nivel mundial (Maitah et al., 2021). En las zonas áridas, la precipitación aumenta su importancia debido a su baja distribución y cantidad (Mati, 2000). Por otro lado, la temperatura media anual se encuentra clasificada en su mayoría como buena. La temperatura juega un rol fundamental en la germinación, crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (Kogo et al., 2019). Por otro lado, las temperaturas calientes pueden afectar la tasa de evapotranspiración (Ureta et al., 2020).

Las condiciones del recurso edáfico han sido reportadas como factores importantes en la modelación de aptitud productiva (Ramírez-Cabral et al., 2017; Tashayo et al., 2020). El cultivo de maíz prefiere suelos con buen drenaje y

aireados, con profundidades entre los 50 y 150 cm y con una conductividad menor a 4 dSm^{-1} (FAO, 2021a; Ramírez-Cabral et al., 2017). Además, Ammani et al. (2013) reconocen a las características físicas asociadas a fertilidad del suelo como un estresante abiótico de importancia. Los resultados obtenidos sugieren que el cultivo de maíz puede desarrollarse apropiadamente en las condiciones edáficas del área de estudio. Sin embargo, un manejo inadecuado del suelo puede tener efectos adversos en el cultivo de maíz debido a que es el medio donde la planta se desarrolla (CONAFOR, 2018; Kogo et al., 2019).

FAO (2021b) reporta que a nivel mundial la degradación de terrenos agrícolas causada por los seres humanos alcanza el 34%. Para el caso de México el 16% de las áreas agrícolas de secano presentan algún grado de erosión; además, en el estado de Durango el nivel de erosión moderada es el predominante (Cotler et al., 2020). Los resultados obtenidos sugieren que un 88.6% de las parcelas de secano presentan algún grado de erosión siendo leve y moderado. Por otro lado, el uso e implementación de medidas de conservación del suelo está más orientado a un mejor manejo del cultivo y las escorrentías y no a controlar la pérdida de partículas de suelo. Resultados similares han sido reportados por Amir et al. (2020), López-Santos et al. (2017) y Sun et al. (2018).

La presión sobre el sistema edáfico provoca que la producción agrícola corra riesgo (Cotler et al., 2020). Por ejemplo, FAO (2021b) sugiere que, ante un incremento en la salinidad de los suelos, la evapotranspiración de estos aumentará. También, Minasny & McBratney (2018) señalan que la disminución de carbono en el suelo disminuye las capacidades de infiltración y retención de agua. Además, Tashayo et al. (2020) señalan que en suelos con altas concentraciones de CaCO_3 se tienen problemas de absorción de micronutrientes. Por otro lado, Gonzáles-Mateos et al. (2007) mencionan que, en suelos erosionados, el rendimiento de la producción de maíz de secano puede disminuir entre 0.47 y 2.63 Ton ha^{-1} ; en contraste, Cotler et al. (2020) mencionan que por cada 5 cm de suelo que se pierdan el rendimiento de los cultivos puede disminuir un 15%. Ante estos panoramas se incrementa la vulnerabilidad de la producción

agrícola al cambio climático (Gómez Díaz et al., 2020). Por ello, Mekuriaw et al. (2018) señalan que un cambio en la actitud de los productores es necesario para la implementación de estructuras para controlar la erosión del suelo.

4.7 CONCLUSIONES

Las condiciones actuales del suelo y factores climáticos permiten tener una aptitud productiva entre media y buena. Sin embargo, la precipitación en el área de estudio se encuentra cercana a los límites de no apto. Además, los pronósticos de cambio climático para diversos escenarios como el canadiense sugieren un aumento en las temperaturas y como consecuencia un aumento en la evapotranspiración. Por ello, lo importante es que los agricultores realicen obras enfocadas al manejo de escorrentías y manejo de humedad en el suelo. Además, importante es realizar obras de conservación de suelo que permitan mejorar las condiciones de fertilidad y eviten la pérdida de partículas de suelo. Finalmente, medidas que permitan mejorar las propiedades físicas del suelo y su retención de humedad deben ser tomadas en cuenta.

4.8 AGRADECIMIENTOS

Al personal de los CADER de Nazas, Rodeo, San Luis del Cordero y San Pedro del Gallo por el apoyo con los datos de producción agrícola y el padrón de productores. A los alumnos y egresados de URUZA que nos apoyaron con contactos para el trabajo de campo.

4.9 LITERATURA CITADA

- Amir, S., Saqib, Z., Khan, M. I., Ali, A., Khan, M. A., Bokhari, S. A., & Zaman-ul-Haq. (2020). Determinants of farmers' adaptation to climate change in rain-fed agriculture of Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06019-w>
- Ammani, A., Ja'afaru, A., Aliyu, J., & Arab, A. (2013). Climate Change and Maize Production: Empirical Evidence from Kaduna State, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.4314/jae.v16i1.1>
- CONAFOR. (2018). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales*

Manual de obras y prácticas (5th ed.). CONAFOR.

- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. (Vol. 32). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- FAO. (2021a). *ECOCROP Database of Crop Constraints and Characteristics*. ECOCROP Database of Crop Constraints and Characteristics. <https://gaez.fao.org/pages/ecocrop>
- FAO. (2021b). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- Gómez Díaz, J. D., Flores Velázquez, R., & Monterroso Riva, A. I. (2020). Aptitud actual bajo escenarios de cambio climático para tres cultivos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 777–788. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2463>
- Gonzáles-Mateos, R., Volke-Haller, V., González-Ríos, J., Ocampo-Portillo, M., Ortiz-Solorio, C., & Manzo-Ramos, F. (2007). Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latinoamericana*, 25(4), 399–408.
- Goodwin, P., & Wright, G. (2014). *Decision Analysis for Management Judgment* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Hermans, K., & McLeman, R. (2021). Climate change, drought, land degradation and migration: exploring the linkages. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.013>
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Durango 2017*. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092115.pdf
- Kogo, B. K., Kumar, L., Koech, R., & Kariyawasam, C. S. (2019). Modelling Climate Suitability for Rainfed Maize Cultivation in Kenya Using a Maximum Entropy (MaxENT) Approach. *Agronomy*, 9(727). <https://doi.org/doi:10.3390/agronomy9110727>
- López-Santos, A. (2016). Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? *Terra Latinoamericana*, 34(2), 239–249.

- López-Santos, A., Bueno-Hurtado, P., Arreola-ávila, J. G., & Emmanuel Pérez-Salinas, J. (2017). Acciones para conservación de suelos identificadas mediante índices kappa al noreste de Durango, México. *Agrociencia*, 51(6), 591–605.
- Maitah, M., Malec, K., & Maitah, K. (2021). Influence of precipitation and temperature on maize production in the Czech Republic from 2002 to 2019. *Scientific Reports*, 11, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89962-2>
- Mati, B. M. (2000). The influence of climate change on maize production in the semi-humid-semi-arid areas of Kenya. *Journal of Arid Environments*, 46, 333–344. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0699>
- Mekuriaw, A., Heinimann, A., Zeleke, G., & Hurni, H. (2018). Factors influencing the adoption of physical soil and water conservation practices in the Ethiopian highlands. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.12.006>
- Minasny, B., & McBratney, A. B. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39–47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>
- Nicholls, C., Altieri, M., Vázquez, L., Nicholls, C., Altieri, M., & Vázquez Moreno, L. (2015). Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10(1), 61–72.
- Ramírez-Cabral, N. Y. Z., Kumar, L., & Shabani, F. (2017). Global alterations in areas of suitability for maize production from climate change and using a mechanistic species distribution model (CLIMEX). *Scientific Reports*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05804-0>
- Risawandi, & Rahim, R. (2017). Study of the Simple Multi-Attribute Rating Technique for Decision Support. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 2(6), 491–494. <https://doi.org/10.31227/osf.io/xnhtj>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). *Panorama agroalimentario 2019* (Primera ed). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social. <https://www.gob.mx/fira/documentos/panorama-agroalimentario>
- SIAP-SADER. (2018). *Aptitud agroclimática del maíz en México*. <https://www.gob.mx/siap/prensa/aptitud-agroclimatica-de-mexico>
- SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sotelo Ruiz, E. D., Cruz Bello, G. M., González Hernández, A., & Moreno Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz

mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 401–412. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.353>

Sun, L., Wang, S., Zhang, Y., Li, J., Wang, X., Wang, R., Lyu, W., Chen, N., & Wang, Q. (2018). Conservation agriculture based on crop rotation and tillage in the semi-arid Loess Plateau, China: Effects on crop yield and soil water use. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 251, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.011>

Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M., & Eftekhari, M. (2020). Land suitability assessment for maize farming using a GIS-AHP method for a semi- arid region, Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(5), 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.03.003>

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(October 2019), 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>

WOCAT. (2008). Mapas de la Degradación de la Tierra y el Desarrollo de Mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra (CM). In A. C. Ravelo, A. M. Planchuelo, & V. Pietragalla (Eds.), *Un cuestionario para posibilitar la realización de Mapas de la Degradación de la Tierra y el desarrollo de Mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra*. WOCAT.

5 CONCLUSIONES GENERALES

Los datos obtenidos en la investigación sugieren una tendencia de incremento de precipitación y temperatura. Sin embargo, también se puede esperar un aumento en la evapotranspiración potencial. Además, evidencia de degradación del suelo en la mayoría de las parcelas existe. La erosión edáfica, entre otros fenómenos, puede provocar una disminución de la capacidad del suelo de retener humedad; esta es la principal limitante para la agricultura en las zonas áridas. Por ello, la implementación de medidas que permitan la conservación de los suelos agrícolas de secano es necesaria. Por otro lado, el capital social se encuentra poco fortalecido por lo que es un punto de atención importante. Un fortalecimiento de las organizaciones sociales como las cooperativas es vital para la compra y venta de insumos a mejores precios. Además, las asociaciones campesinas organizadas pueden acceder a programas de apoyo gubernamentales que mejoren sus condiciones productivas. Asimismo, el capital natural muestra fortaleza debido a la facilidad relativa de los productores para modificar su entorno físico. Finalmente, el capital financiero muestra fortaleza debido a la diversificación económica de los productores producto de la vulnerabilidad en las zonas áridas.

6 APÉNDICES

Apéndice 1) Formato de campo para encuestas a productores

Sección 1) Datos generales

Fecha_____ Municipio_____ Parcela (clave)_____
Revisor_____ Edad_____ Sexo_____ Uso de la parcela _____
Cultivo(s)_____ Tipo tenencia _____

Escala de Likert utilizada:

- 1: Totalmente en desacuerdo
- 2: En desacuerdo
- 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 4: De acuerdo
- 5: Totalmente de acuerdo

Sección 2) percepción de los productores acerca del cambio

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1.- Yo he escuchado del cambio climático en algún medio como la televisión, el radio, periódico o redes sociales.					
2.- Me parece que la temperatura del verano durante los últimos 30 años es mayor que antes de 1990					
3.- Me parece que la temperatura del verano durante los últimos 30 años es menor que antes de 1990					
4.- Me parece que la temperatura invernal de los últimos 30 años es más fría que antes de 1990					
5.- Me parece que la temperatura invernal de los últimos 30 años es más caliente que antes de 1990					
6.- Me parece que durante los últimos 30 años ha llovido menos que antes de 1990					
7.- Me parece que durante los últimos 30 años ha llovido más que antes de 1990					
8.- Me parece que la fecha de inicio del temporal ha cambiado					
9.- Yo he notado que el temporal se adelanta en comparación a antes de 1990					
10.- Yo he notado que el temporal se atrasa en comparación a antes de 1990					
11.- Yo creo que la estación lluviosa dura menos en comparación con antes de 1990					
12.- Yo creo que la canícula ahora es más severa que antes de 1990					
13.- Yo creo que la canícula es más frecuente que antes de 1990					
14.- Yo he notado que ahora ocurren más sequías que antes de 1990					
15.- Yo he notado que ahora ocurren más heladas que antes de 1990					
16.- Yo percibo que los cambios de estación (primavera, verano, otoño, invierno) se notan menos que antes de 1990					
17.- Yo he notado que los vientos son más fuertes que antes de 1990					
18.- Yo he percibido que mi suelo es menos fértil que antes de 1990					
19.- Yo he notado que la dirección del viento es más frecuente o dominante es de norte a sur, sur a norte, este a oeste u oeste a este (¿Cuál?)					

Sección 3) Impactos negativos en la producción agrícola asociados a fenómenos meteorológicos

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1.- Yo he dejado de sembrar por falta de lluvias (sequía) por lo menos un ciclo					
2.- Yo he dejado de sembrar por temperaturas calientes por lo menos un ciclo					
3.- Yo he cosechado $\frac{3}{4}$ partes de lo que esperaba por efecto de temperaturas calientes en un ciclo					
4.- Yo he cosechado $\frac{3}{4}$ partes de lo que esperaba por efecto de falta de lluvias en un ciclo					
5.- Yo he cosechado $\frac{1}{2}$ de lo que esperaba por efecto de temperaturas calientes en un ciclo					
6.- Yo he cosechado $\frac{1}{2}$ de lo que esperaba por efecto de falta de lluvias en un ciclo					
7.- Yo he cosechado $\frac{1}{4}$ de lo que esperaba por efecto de temperaturas calientes en un ciclo					
8.- Yo he cosechado $\frac{1}{4}$ de lo que esperaba por efecto de falta de lluvias en un ciclo					
9.- Yo no he tenido cosechas por efecto de temperaturas calientes					
10.- Yo no he tenido cosechas por efecto de falta de lluvias en un ciclo					
11.- Yo he dejado de sembrar en el ciclo de primavera-verano y he sembrado en otoño-invierno					
12.- Yo he dejado de sembrar en el ciclo de otoño-invierno y he sembrado en primavera-verano					
13.- Yo he notado que en años calurosos inciden más plagas en mi parcela					
14.- Yo he notado un incremento de la frecuencia de heladas que han dañado mis cultivos					
15.- Yo he notado un incremento en la frecuencia de granizadas que han dañado mis cultivos					
16.- Yo he notado que mis cultivos maduran más rápido					
17.- Yo he notado que han aparecido más malezas en mis cultivos					
18.- Yo he abandonado alguna parcela de temporal (secano) por falta de lluvias o por temperaturas calientes que me impiden trabajar.					
19.- Yo he vendido alguna parcela de temporal por necesidad como consecuencia de los efectos de falta de lluvias y temperaturas calientes					

20.- El suelo de mi parcela requiere de más fertilizantes y abonos que antes					
21.- Yo he notado que la lluvia erosiona al suelo de mis parcelas					
22.- Las temperaturas calientes han dañado el suelo mi parcela					
23.- Yo he notado que los vientos intensos han hecho que pierda suelo de mi parcela					

Sección 4) medidas de adaptación y mitigación a los impactos negativos del cambio climático aplicadas por los productores agrícolas.

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
A. En relación al capital social (colaboración en un colectivo, instituciones)					
1.-Yo he recibido consejos de otros productores con experiencia en los cultivos en el norte de Durango					
2.- Yo he formado parte de alguna asociación o cooperativa para adquirir insumos a un mejor precio					
3.- Yo he formado parte de alguna asociación o cooperativa para vender mi cosecha a un mejor precio					
4.- ¿Hace cuantos años comencé a aplicar estas técnicas?					
B. En relación al capital humano (experiencia y conocimientos, formación académica)					
1.- Yo he contratado especialistas (ing. Agrónomo) como prestadores de servicios de consultoría y asesoría					
2.- Yo he recibido capacitación por parte de alguna institución educativa o gubernamental					
3.- Yo he asistido a algún foro o demostración de cultivos de temporal					
4.- Yo leo cuestiones técnicas en revistas, periódicos y guías técnicas sobre las especies que cultivo					
5.- Yo veo programas de televisión sobre cuestiones técnicas de las especies que cultivo					
6.- Yo me informo sobre cuestiones técnicas de las especies que cultivo participando en las redes sociales (Facebook, Twitter, Whatsapp)					
7.- Yo me informo sobre cuestiones técnicas de las especies que cultivo al consultar páginas de internet (URL)					
8.- Las cuestiones que yo leo tienen que ver con los cuidados y necesidades de mi cultivo					
9.- Las cuestiones técnicas que yo leo tienen que ver con el uso de mi maquinaria e implementos agrícolas					
10.- Las cuestiones técnicas que yo leo tienen que ver con el manejo del suelo					
11.- ¿Hace cuantos años comencé a aplicar estas técnicas?					
C. En relación al capital financiero (dinero)					
1.- Yo he contratado seguros agrícolas					
2.- Yo he contratado créditos agrícolas					
3.- Yo he recibido apoyos económicos gubernamentales					

4.- Yo ahorro e invierto en mi actividad productiva					
5.- Yo he recibido apoyo económico de familiares que viven en otros lugares o el extranjero					
6.- Además de la producción agrícola yo realizo otra actividad económica (cría de ganado caprino, porcino, venta de los productos inherentes) para generar ingresos					
7.- ¿Cuál es el destino de mi producción agrícola? (venta, autoconsumo, alimento para ganado, en caso de ser más de uno indicar en que porcentaje)					
8.- ¿Hace cuantos años comencé a aplicar estas técnicas?					
D. En relación a activos fijos					
1.- Yo he construido obras para aprovechar el agua de escorrentías u arroyos					
2.- Yo he trazado surcos al contorno en mi parcela					
3.- Yo he construido terrazas en mi parcela					
4.- Yo uso el pileteo en mi parcela					
5.- Yo he nivelado mi parcela					
6.- ¿Hace cuantos años comencé a aplicar estas técnicas?					
E. En relación al capital natural (materia y energía para producir bienes y servicios)					
1.- Yo he cambiado de cultivo por problemas relacionados con temperatura					
2.- Yo he cambiado de cultivo por problemas relacionados con precipitación					
3.- Yo he cambiado las fechas de siembra por problemas relacionados a temperatura					
4.- Yo he cambiado las fechas de siembra por problemas relacionados a precipitación					
5.- Yo he aplicado abonos orgánicos como composta, gallinaza, estiércol u otros a mi parcela					
6.- Yo he reducido mi superficie de siembra en mi parcela para aprovechar mejor el agua del temporal					
7.- Yo he dejado residuos de cosecha en mi parcela					
8.- Yo he dejado descansar mi parcela para que recupere su fertilidad					
9.- Yo he usado herbicidas y plaguicidas orgánicos					
10.- Yo he usado variedades resistentes o mejoradas					
11.- Yo he usado semillas criollas de la región					
12.- Yo he realizado labranza de conservación					
13.- Yo he sembrado dos o más especies por temporada en la misma parcela					
14.- ¿Hace cuantos años comencé a aplicar estas técnicas?					

Apéndice 2) Formato de campo para evaluar las condiciones de las parcelas agrícolas (Método Kappa).

Clave	Descripción por categoría del indicador	Sí	No	No Se
1	Tipo de degradación del suelo (Indicador de estado)			
1 ₁	Sin degradación aparente			
1 ₂	Erosión hídrica			
1 ₃	Erosión eólica			
1 ₄	Erosión química			
1 ₅	Erosión física			
1 ₆	Degradación biológica			
2	Grado de degradación del suelo (Indicador de estado)			
2 ₁	Leve			
2 ₂	Moderado			
2 ₃	Fuerte			
2 ₄	Extremo			
3	Causas de la degradación del suelo (Indicador de estado)			
3 ₁	Manejo del suelo			
3 ₂	Manejo del cultivo			
3 ₃	Deforestación y remoción de la vegetación natural			
3 ₄	Sobreexplotación de la vegetación por uso doméstico			
3 ₅	Sobrepastoreo			
3 ₆	Actividades industriales y minería			
3 ₇	Desarrollo urbanístico e infraestructura			
3 ₈	Descargas			
3 ₉	Alteración de los ciclos hidrológicos			
3 ₁₀	Causas naturales			
4	Medidas de conservación (Indicador de respuesta)			
4 ₁	Abonos / Composta / Manejo de nutrientes			
4 ₂	Sistemas de rotación / cambio de cultivos / barbechos			
4 ₃	Desmonte vegetativo / cobertura			
4 ₄	Agrosilvicultura			
4 ₅	Reforestación y protección forestal			
4 ₆	Control de cárcavas / rehabilitación			
4 ₇	Terrazas			
4 ₈	Manejo de las tierras con pasturas			
4 ₉	Obras de captación del agua			
4 ₁₀	Mejoramiento de la calidad del agua			
4 ₁₁	Protección contra los riesgos naturales			
4 ₁₂	Control de las aguas generadas por tormentas y escorrentías en los caminos			

Apéndice 3) Anexos fotográficos



Figura 9. Evidencia de erosión hídrica formación de cárcavas fuera de la parcela



Figura 10. Evidencia de erosión hídrica formación de cárcavas dentro de la parcela



Figura 11. Evidencia de erosión hídrica arrastre de partículas por corriente de agua



Figura 12. Evidencia de erosión eólica laminar



Figura 13. Evidencia de erosión eólica arrastre de partículas en suelo desnudo



Figura 14. Evidencia de degradación física compactación del suelo



Figura 15. Evidencia de degradación física desprendimiento de partículas por paso de ganado



Figura 16. Evidencia de medidas de conservación: surcado al contorno



Figura 17. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: cercos vivos.



Figura 18. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: cercos vivos.



Figura 19. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: manejo de escorrentías



Figura 20. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: manejo de escorrentías



Figura 21. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: terrazas



Figura 22. Evidencia de medidas de manejo de suelo y agua: terrazas