

# Impacto de el fenómeno El Niño en la precipitación y agricultura del estado de Hidalgo, México

<https://doi.org/10.59307/terne1.13>

Quiroz-Jiménez, J.D. ; Debajyoti-Roy, P.; Castelán Hernández C. & Islas Sanjuán, A.

<https://orcid.org/0000-0003-2439-2048>

<https://orcid.org/0000-0001-8910-8023>

<https://orcid.org/0009-0001-2944-4073>

<https://orcid.org/0000-0003-3284-8762>

## Resumen

Se presenta un análisis sobre el impacto histórico de la variabilidad climática relacionada con el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en la precipitación pluvial y en la producción agrícola del estado de Hidalgo. Para hacerlo se compara el Índice Oceánico El Niño (ONI) (1950-2022), con trece estaciones meteorológicas distribuidas en distintas regiones del estado y la información agroalimentaria disponible (1980-2021) para la entidad de cuatro de cultivos representativos. Se puede observar que el fenómeno ENOS repercute en la precipitación, pues durante la fase Niño disminuye y en la fase Niña aumenta o se mantiene cercana a la media. Sin embargo, la magnitud del cambio y sus consecuencias, son dependientes de cada fenómeno individual y el lugar donde se registró. Así mismo, históricamente la producción agrícola también ha sido afectada por este tipo de variabilidad climática. En años de ENOS fortalecidos se han presentado pérdidas de hasta el 50 % de las hectáreas cultivadas debido a la intensificación de sequías, inundaciones, etc.

**Palabras clave:** *El Niño, La Niña, cambio climático precipitación, agricultura.*

# Impact of El Niño phenomenon on precipitation and agriculture in the state of Hidalgo, Mexico

Quiroz-Jiménez, J.D. ; Debajyoti-Roy, P. ; Castelán Hernández C.& Islas Sanjuán,A.

## Abstract

An analysis of the historical impact of climate variability related to the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on rainfall and agricultural production in the state of Hidalgo is presented. To do so, the El Niño Oceanic Index (ONI) (1950-2022) is compared with thirteen meteorological stations distributed in different regions of the state and the agri-food information available (1980-2021) for the entity of four representative crops. It can be observed that the ENSO phenomenon affects precipitation, since during the El Niño phase it decreases and in the El Niña phase it increases or remains close to the average. However, the magnitude of the change and its consequences depend on each individual phenomenon and the place where it was recorded. Likewise, historically agricultural production has also been affected by this type of climate variability. In years of strengthened ENSO, there have been losses of up to 50% of the cultivated hectares due to the intensification of droughts, floods, etc.

**Keywords:** *El Niño, La Niña, climate change, precipitation, agriculture*

## Introducción

Las proyecciones de cambio climático para México no son alentadoras. En un país donde más del 30 % del territorio presenta aridez y grandes problemas de sequía, los aumentos de temperatura suponen mayor estrés hídrico y la sobreexplotación de acuíferos, en regiones ya vulnerables como las del centro-norte de México (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2010; CONAGUA, 2011; Diffenbaugh *et al.*, 2011; Diffenbaugh y Field, 2013; IPCC, 2014, 2021). Las repercusiones sociales se estiman mayores, pues se prevé que nuestro país sea uno de los primeros cinco a nivel mundial donde la pobreza aumentará en función del cambio ambiental (Saldaña-Zorrilla y Sandberg, 2009; Feng, *et al.*, 2010; Oppenheimer, 2013).

Si bien queda claro que el calentamiento actual tiene un origen antropogénico, la variabilidad climática también es natural y opera en diferentes escalas (ej. Interanual, decadal). Sin embargo, se estima que el cambio actual puede alterar diferentes fenómenos climáticos como los ciclones tropicales, los frentes fríos, el fenómeno de El Niño, etc., (IPCC, 2021). De esta manera, es imprescindible comprender la climatología y las repercusiones que puede conllevar la alteración de las variables hidrometeorológicas para así proyectar escenarios de ambientales, económicos y sociales en el país y estados (Velazco-Hernández *et al.*, 2021).

El fenómeno conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), puede desencadenar cambios en las temperaturas, precipitación y demás variables meteorológicas y afectar sustancialmente las actividades económicas del país y del estado de Hidalgo a través de sequías, inundaciones, pérdida de cosechas, etc., (Velazco-Hernández *et al.*, 2021; Banco de México, 2022).

El Niño se desarrolla en el océano Pacífico y se caracteriza por el debilitamiento/fortalecimiento de los vientos alisios entre Oceanía y Sudamérica. Normalmente los vientos del este (cercanos al ecuador) acumulan las masas de agua superficial oceánica caliente frente a las costas de Australia, descubriendo aguas de menor temperatura frente a las costas de Perú; a esta fase se le conoce como neutral. Sin embargo, durante el fenómeno de El Niño los vientos alisios se debilitan, permitiendo que las aguas calientes se distribuyan más ampliamente en el Pacífico tropical (Glantz 2004; Barry y Chorley, 2004). Durante La Niña, los vientos alisios se fortalecen y agrupan aún más las aguas superficiales del mar calientes hacia Australia, volviendo más frío el Pacífico tropical y las costas de Sudamérica. Esto trae consigo grandes repercusiones en la climatología global, pues cambia los patrones atmosféricos-oceánicos globales de humedad en una periodicidad irregular entre 2 y 7 años.

En la mayor parte de México, ENOS en su fase El Niño se asocia con la disminución de la precipitación de verano y el incremento de la invernal debido a la mayor entrada de frentes fríos y nortes. De esta manera, la mayor parte del país refleja condiciones áridas y algunos estados del norte presentan condiciones más húmedas (ej. Baja California). La fase de La Niña se traduce en un la estabilidad/incremento de la precipitación de verano y se asocia con años más lluviosos por el incremento en las ondas del este y huracanes desde el Caribe y Golfo de México (Magaña, 2003). Las repercusiones de ENOS son bien conocidas pues afectan directamente los recursos hídricos, generando o recrudeciendo las sequías, inundaciones, deslizamientos de laderas, etc., que afectan directamente las actividades económicas preponderantes. Tan sólo la fase Niño de 1982-1983 se tradujo en pérdidas estimadas de casi 600 millones de dólares en las economías de México y Centroamérica (Magaña et al., 1998). Si bien la agricultura es tan sólo una de las actividades económicas del país, ENOS representa una amenaza latente que se asocia con pérdidas de hasta US410 millones en el sector. Se estima que un sistema de predicción y alerta representaría ahorros de alrededor de 10 millones de dólares anuales (Harris y Robinson, 2001; Adams et al., 2003).

En el estado de Hidalgo, ENOS supone cambios en la precipitación de verano e invierno y ha sido relacionado con eventos meteorológicos extremos como las inundaciones de Tulancingo en 1999 o el recrudecimiento de las sequías e incendios forestales en 1998 (Magaña et al., 1998; Pavón y Sánchez Rojas, 2011; Herrera et al., 2019). Sin embargo, la información regionalizada de este fenómeno aún es limitada y los estudios que aborden su impacto en la agricultura estatal son nulos.

Este trabajo busca documentar y divulgar los efectos de ENOS en la precipitación de distintas regiones del estado de Hidalgo en sus distintas fases, a partir del análisis y comparación cuali-cuantitativa de diferentes estaciones meteorológicas para así entrever las repercusiones de la variabilidad hidrometeorológica en la agricultura estatal de manera semi-cuantitativa.

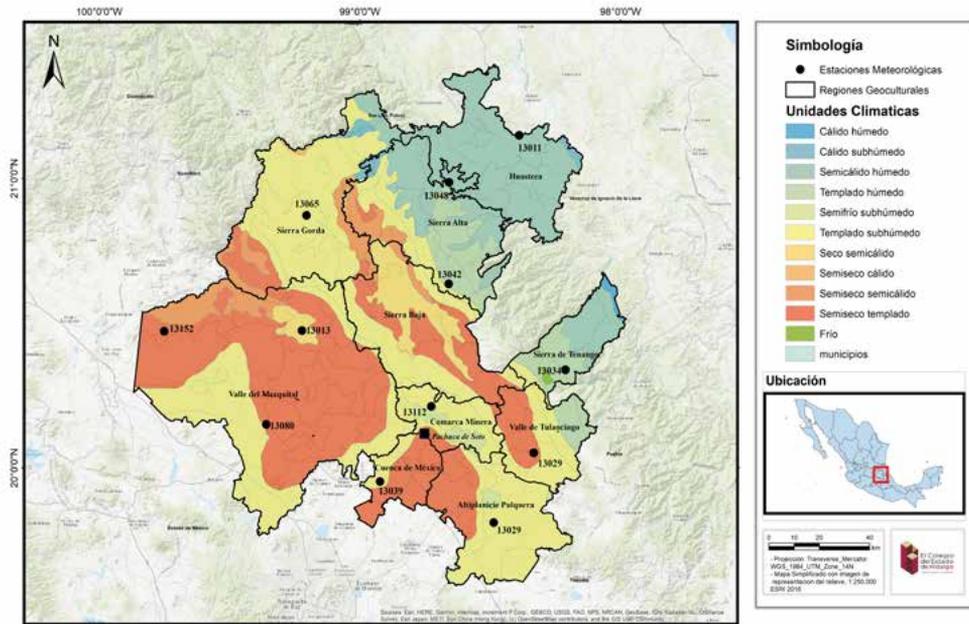
## Marco geográfico del estado de Hidalgo

Con excepción de la parte norte de Baja California, donde la época de lluvias es en invierno, la hidrología de la mayor parte del país está gobernada por lluvias de verano y otoño. Durante estas estaciones del año, la migración al norte de la Zona Intertropical de Convergencia (ITCZ) y sistemas atmosféricos asociados, además de la incidencia de ciclones tropicales derivan en una época de lluvias bien marcada entre junio-septiembre y precipitación ocasional en la época de secas el resto del año. De esta forma, los meses de verano y otoño concentran alrededor de 70 % del acumulado de precipitación anual y los meses restantes el 30 %.

El estado de Hidalgo se localiza en la parte central de México, en las coordenadas 21° 23' 55" – 19° 35' 52" latitud norte y 97° 59' 06" – 99° 51' 34" longitud, entre las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental, Franja Volcánica Transmexicana y la Llanura Costera del Golfo Norte. La orografía y vegetación presentes condicionan los climas cálidos, semi-cálidos, templados, semisecos, etc., prevalecientes (INEGI, 2017) (Figura 1). Las lluvias dominantes son de verano-otoño, condicionadas por amplia actividad monzónica y ciclónica que aportan entre 60% y 75 % del acumulado anual. Asimismo, durante la época de estiaje, los frentes fríos y nortes aportan humedad adicional procedente principalmente del Golfo de México y el Pacífico.

En lo que refiere a la agricultura, Hidalgo ocupa el lugar 14 a nivel nacional con 2.8 % de la producción del país. Los municipios líderes son Tecozautla, Ixmiquilpan, Mixquiahuala de Juárez, Alfajayucan y Tezontepec de Aldama y los principales productos a nivel estatal son maíz grano, alfalfa, cebada, maguey pulquero y tomate rojo (INEGI, 2017). Cabe mencionar que a pesar de los apoyos al campo, la entidad ha mantenido su producción desde 2012 y esta tendencia es diferente a la nacional que ha aumentado desde 2009.

**Fig. 1 Estaciones meteorológicas distribuidas en las diferentes regiones geoculturales del estado de Hidalgo y distribución de los diferentes tipos de clima.**



Fuente: elaboración propia.

## Metodología

Tomando en cuenta la extensión y fiabilidad del registro meteorológico del Servicio Meteorológico Nacional, se seleccionaron 13 estaciones distribuidas a lo largo y ancho de Hidalgo, en algunos municipios representativos de las regiones geoculturales de Hidalgo (Figura 1). Las estaciones se encuentran en Tulancingo de Bravo (13082) (Valle de Tulancingo), Tenango de Doria (13034) (Sierra de Tenango), Tlanchinol (13048) (Sierra Alta), Zacualtipán de Ángeles (13042) (Sierra Baja), Huejutla (13011) (Huasteca), Tepeapulco (13027) (Altiplanicie pulquera), Zimapán (13065) (Sierra Gorda), Tecozautla (13152) (Valle del Mezquital), Ixmiquilpan (13013) (Valle del Mezquital), Tepetitlán (13080) (Valle del Mezquital), Toluca (13039) (Cuenca de México) y Mineral del Chico (13017 y 13112) (Comarca Minera). Estas estaciones brindan información climática de la región en que se asientan y permitieron construir registros de precipitación histórica de al menos 30 años de duración, desde 1950 hasta el año 2021. Asimismo, se definió la variabilidad del Índice Oceánico El Niño (ONI) a partir de los datos del Centro de Predicción Climática dependiente de la Administración Nacio-

nal Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, 2023). Este índice considera las diferencias de las variaciones trimestrales de la temperatura superficial del mar (ej. Enero-Febrero-Marzo vs Febrero-Marzo-Abril) para conocer y proyectar condiciones oceánicas del Pacífico y la formación de ENOS desde 1950. Los valores positivos de ONI indican la formación de la fase Niño y los negativos, la fase Niña, cuya interpretación hace uso de rangos para definir intensidad. Índices  $\pm 0 - 1.0$  sugieren fenómenos ENOS débiles,  $\pm 1.0 - 1.5$  moderados,  $\pm 1.5 - 2.0$  fuertes y superiores a  $\pm 2.0$  muy fuertes.

A partir del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y su plataforma electrónica (SIACON) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, se obtuvo información histórica de las hectáreas sembradas, cosechadas y siniestradas de cuatro de cultivos representativos del estado, Maíz grano (T), Alfalfa (R), Cebada grano (T) y Tomate rojo (R), tomando en cuenta su modo de producción por riego y/o temporal, asumiendo su dependencia meteorológica. A continuación se presentan los parámetros que se tomaron en cuenta en este trabajo, estas definiciones parten del SIAP.

*Superficie sembrada*: es la superficie agrícola en que se deposita la semilla de cualquier cultivo, previa preparación del suelo.

*Superficie cosechada*: es la superficie de la cual se obtuvo producción del cultivo.

*Superficie siniestrada*: superficie de la cual no se obtuvo producción, pues se perdió por alguna causa.

La comparación entre indicadores climáticos y de agricultura tiene como base análisis cualitativos y semicuantitativos con estadística descriptiva (media, desviación estándar;  $p < 0.05$ ). Cabe mencionar la distinta naturaleza de los indicadores, ONI analiza los cambios de tendencia oceánicos interanuales, mientras la precipitación y productividad refieren a acumulado y balance anual.

## Resultados

### Precipitación y ENOS

La cantidad de precipitación pluvial en el estado de Hidalgo es condicionada por el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur; sin embargo, esta influencia no es lineal y sus rangos de variabilidad cambian de acuerdo con las distintas regiones geoculturales del estado.

Los municipios con mayores acumulados de lluvia anual, son los menos susceptibles a ENOS. Por ejemplo, durante las fases Niño en nivel "muy fuerte" de 1998, los municipios de Huejutla, Tlanchinol y Tenango de Doria (Huasteca, Sierra alta y Sierra de Tenango) presentaron precipitación cercana a la media sin grandes fluctua-

ciones, mientras que en las demás regiones la lluvia disminuyó. Lo anterior puede relacionarse con la calidad del registro meteorológico pero también con las características climáticas regionales (Tabla 1). La Sierra Alta con clima húmedo, donde la época de estiaje no está bien marcada, las afectaciones de ENOS son menores y en regiones con clima más variable el efecto suele ser mayor.

**Tabla 1. Registros de las estaciones meteorológicas<sup>1</sup>.**

Municipio	Clave estación	Rango temporal	Años con registro desde 1950	Calidad del registro
Tenango de Doria	13034	1942-2018	58	Bueno
Mineral del Chico	13017-13112	1923-2017	59	Bueno
Zimapán	13065	1965-2016	46	Bueno
Zacualtipán	13042	1943-2019	66	Bueno
Ixmiquilpan	13013	1923-2019	61	Bueno
Tulancingo	13082	1956-2019	63	Bueno
Huejutla	13011	1969-2019	46	Bueno
Tlanchinol	13048	1986-2019	31	Bueno
Tecoautla	13152	1986-2017	28	Regular
Tepeapulco	13027	1970-2014	36	Regular
Tepetitlán	13080	1971-2018	40	Regular
Tolcayuca	13039	1944-1989	30	Malo

*Fuente: elaboración propia.*

Los eventos Niño fuerte y muy fuerte de 1972-1973, 1982-1983, 1986-1988, 1997-1998, 2015-2016, se tradujeron en una disminución generalizada de la precipitación (Figura 2). Regiones como la Comarca Minera, Valle del Mezquital, Sierra Baja y Valle de Tulancingo vieron disminuida su precipitación hasta un 57 % con respecto a la media (ej. Tulancingo 1982) mientras que en el resto del estado el efecto fue menor (Tabla 2 y Figura 2).

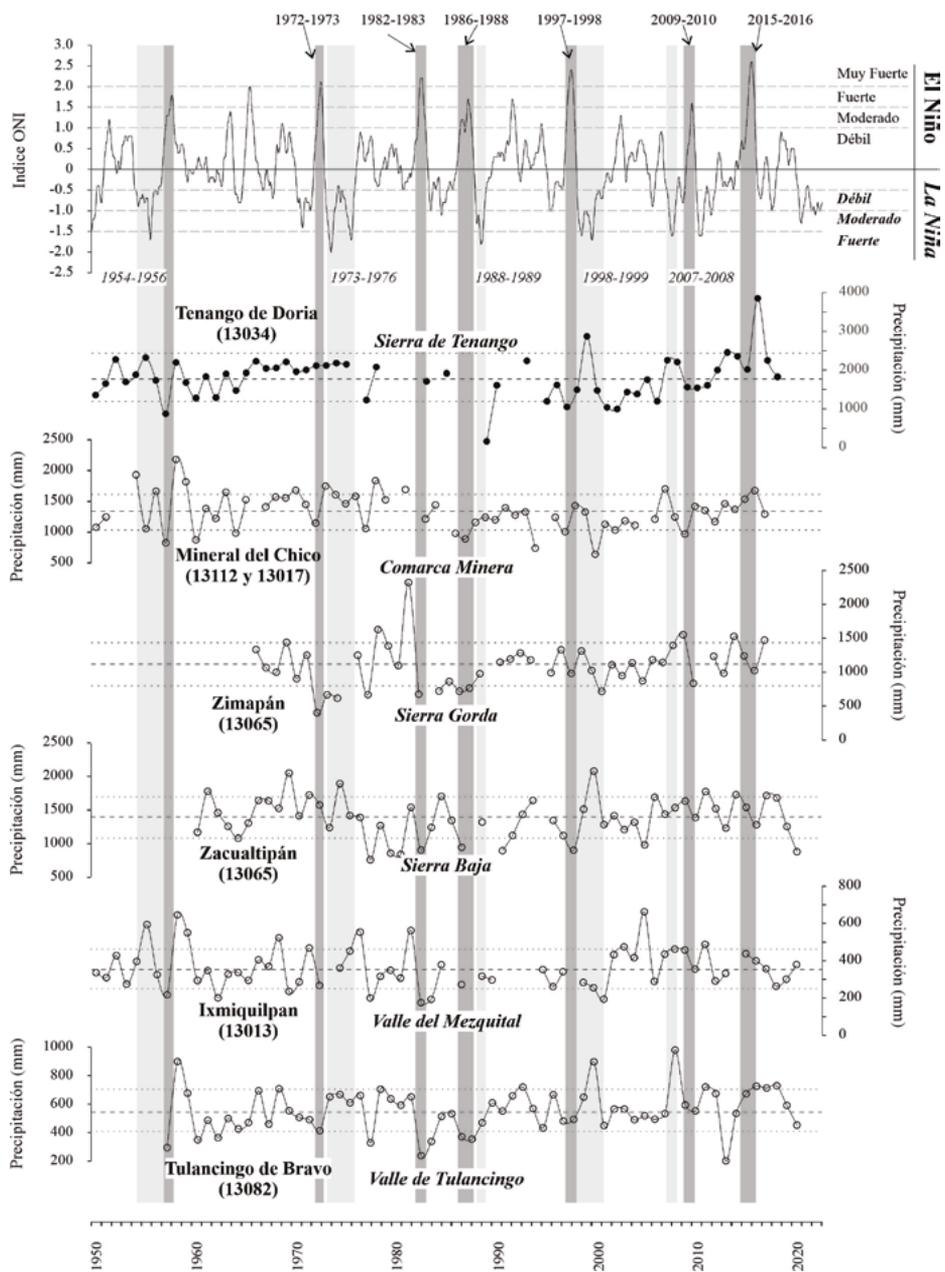
<sup>1</sup>Se presentan rangos temporales, años con registro completo desde 1950. La calidad del registro es un parámetro cualitativo tomando en cuenta la congruencia de los datos registrados y las tendencias climáticas de la región geocultural.

**Tabla 2. Porcentajes de cambio con respecto a la media en las diferentes estaciones meteorológicas. Se presentan las distintas fases de ENOS más representativas a partir de 1980. Signos negativos y positivos indican menor y mayor precipitación con respecto a la media.**

Clave estación	Tenango de Dorila	Mineral del Chico	Zimapán	Zacualtípán	Ixmiquilpan	Tulancingo	Huejutla	Tlanchinol	Tecoautia	Tepeapulco	Tepetitán	Tolcayuca
13034	1815.0	13017-13112	13065	13042	13013	13082	13011	13048	13152	13027	13080	13039
x (mm/año)	615.0	1231.0	1118.0	1397.0	357.0	562.0	1417.0	2255.0	435.0	617.0	472.0	556.0
δ	615.0	249.0	320.0	309.0	108.0	320.0	327.0	581.0	127.0	162.0	140.0	293.0
Año												
1982	-38.6		-39.7	-34.7	-50.8	-57.8				-14.5	-13.2	-63.5
1983	-5.8	-4.6		-10.8	-46.0	-40.2				14.7	-19.7	-61.0
1986		-19.6	-35.8	-31.8	-23.7	-34.3	-3.5	5.7		6.6		
1987		-27.9	-31.6			-37.4	11.7	12.9	-46.5	-18.9	-49.6	
1988		-5.8	-12.7	-5.0	-11.2	-16.8	-1.7	-32.3	-23.1	-13.7	-1.3	
1997	-42.2	-18.2	-12.3	-34.9		-12.5	-12.5	-26.5	34.3	3.4	-19.0	
1998	-18.0	16.1	17.4	8.7	-20.6	15.2	5.8	6.6	-13.5	-25.9	-6.9	
2002	-45.4	-16.1	-15.3	-13.1	32.8	0.5	-21.8	-9.9	27.2		-1.8	
2003	-21.2	-3.8	1.5	-5.2	16.6	-13.0	-7.7	4.5	61.8	-5.6	8.2	
2009	-14.4	-21.3	-25.4	-0.2	-0.5	-1.9	8.8	-3.5				
2010	-15.0	15.2		27.5	36.6	28.0	23.0	11.7	28.8	-7.2		
2015	10.9	24.8	-8.5	-7.8	12.1	29.1	-17.7	85.1	3.1		63.1	
2016	112.0	35.9	31.5	23.2	-0.1	26.8	-12.7	37.9	-12.8			
1989		0.9			-16.8	8.1	13.8	-32.3	-39.2	24.5	-16.4	
1999	58.1	7.9	-8.3	49.2	-28.4	59.6	19.4	-4.6	-36.8		-30.9	
2007	24.2	38.2	24.8	10.4	29.6	74.1	31.1	-26.5		42.5		
2008	21.5	1.2	38.6	17.3	28.0	5.4	19.3	15.5	25.1	-9.5		

Fuente: elaboración propia.

**Fig. 2 Variaciones de precipitación en las estaciones meteorológicas con registro más extenso en función de las distintas fases de ENOS<sup>2</sup>.**



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la magnitud de ENOS no necesariamente se reflejó

<sup>2</sup> Los recuadros gris oscuro marcan algunos eventos Niño moderados a muy fuertes. Los recuadros gris claro indican eventos Niña representativos moderados a fuertes. Las líneas punteadas refieren a la media y desviación estándar

como un cambio equiparable en las lluvias. Por ejemplo, durante 2015-2016 el índice Oceánico El Niño (ONI) documentó la mayor fortaleza de la fase Niño desde 1950; sin embargo, sus repercusiones fueron menores que el Niño moderado de 2009-2010 e incluso la precipitación fue mayor a la media (Tabla 2, Figura 2).

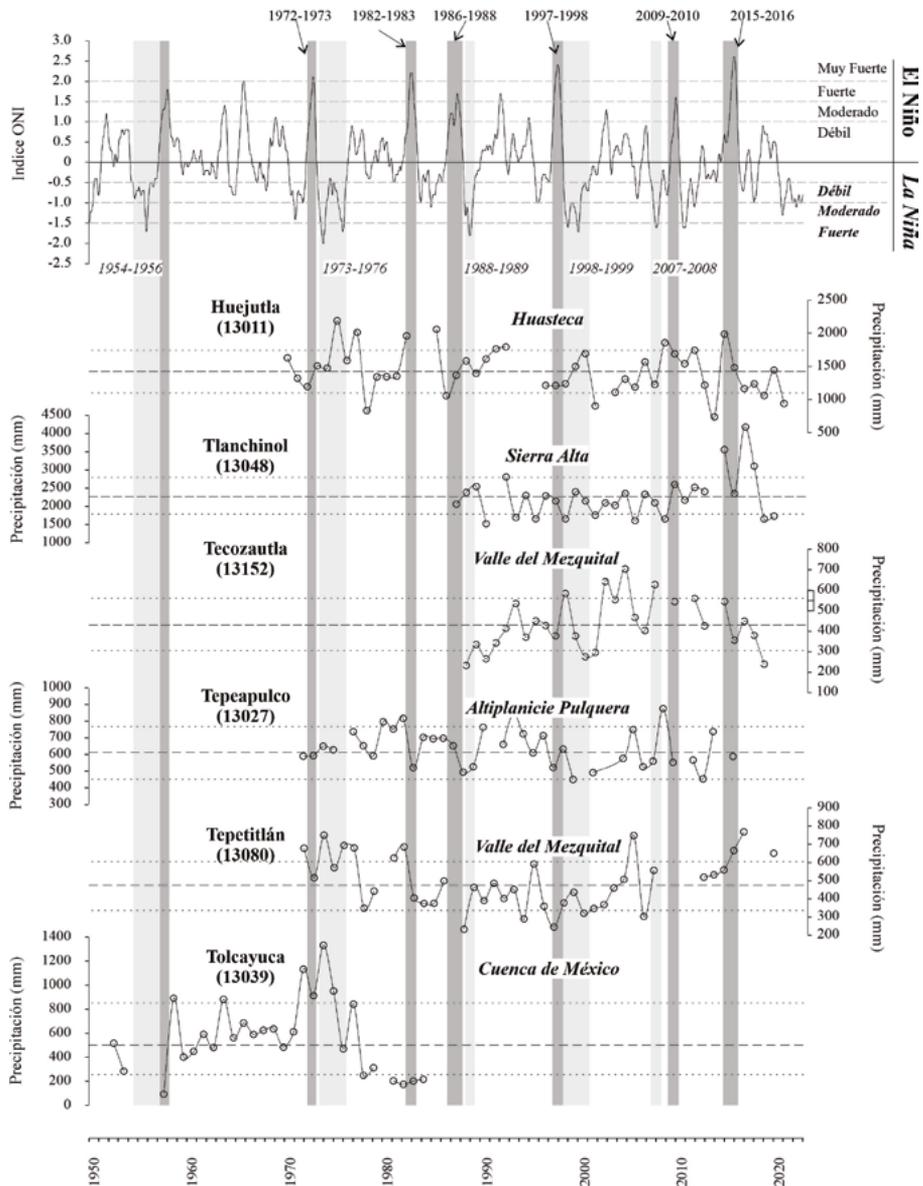
La Fase Niña de ENOS en la precipitación en México se caracteriza por valores cercanos o superiores a la media y el estado de Hidalgo exhibe este mismo comportamiento (Magaña, 2003). Años de Niña moderada-fuerte como 1954-1956, 1973-1976, 1988-1989, 1998-1999, 2007-2008, no necesariamente se tradujeron en años más húmedos que la media en todas las estaciones analizadas. Mientras en la Comarca Minera, Sierra Baja y el Valle de Tulancingo el año de 1999 la precipitación se mantuvo cercana a la media, en la Sierra de Tenango aumentó hasta un 54 % (Tabla 2).

La sensibilidad observada de las distintas regiones del estado de Hidalgo a ENOS, puede ser un reflejo de la calidad de los datos del Servicio Meteorológico Nacional pero también de los diferentes climas del estado. Los registros más amplios se encuentran en Mineral del Chico, Tenango de Doria, Zimapán e Ixmiquilpan (1950-2021), mientras en las demás regiones el registro es limitado o presenta rangos temporales muy cortos, independientemente de la calidad o congruencia del registro (Tabla 1). Sin embargo, la respuesta a ENOS de las estaciones con mejor registro meteorológico puede estar condicionada por la climatología regional. La Sierra Alta (ej. Tlanchinol), con un clima Semicálido húmedo, donde no hay una estación de secas bien definida, el efecto de ENOS es menor que en regiones con una estación de estiaje marcada y clima seco-semiseco como la Comarca minera, Valle de Tulancingo y el Valle del Mezquital) (Figura 1).

Es importante mencionar la variabilidad de ENOS de 1997 a 1999, pues en este intervalo se presentaron desastres naturales en México e Hidalgo. El fenómeno Niño muy fuerte de 1997 a 1998 pudo recrudecer la sequía. Tan sólo en el estado de Hidalgo, se presentaron alrededor de 400 incendios forestales, se perdieron más de 13,000 hectáreas de bosque y más de 370 mil hectáreas de cultivos resultaron afectados por las condiciones áridas (CONAFOR, 2023; DesInventar, 2023). Consecuentemente, en 1999 la precipitación aumentó en todas las regiones geoculturales de la entidad (Figura 2 y 3). Específicamente en el Valle de Tulancingo la precipitación anual alcanzó 897 mm, superando sustancialmente la media anual de aproximadamente 556 mm hasta en 63%, lo cual representó un incremento de más de 200 mm en comparación con 1998 (Estación 13082) y resultó en la inundación de la ciudad de Tulancingo (ej. La Jornada, 2021). Las condiciones citadas pueden relacionarse directamente con las inundaciones, deslizamientos de ladera, etc., que

dejaron alrededor de 30 mil damnificados en la entidad, y ocasionaron amplios problemas a nivel nacional (ej. La Jornada, 1999; Herrera et al., 2019).

**Fig. 3** Variaciones de precipitación en las estaciones meteorológicas en función de las distintas fases de ENOS<sup>3</sup>.



Fuente: elaboración propia.

<sup>3</sup> Los recuadros gris oscuro marcan algunos eventos Niño moderados a muy fuertes. Los recuadros gris claro indican eventos Niña representativos moderados a fuertes. Las líneas punteadas refieren a la media y desviación estándar.

Es importante mencionar la variabilidad de ENOS de 1997 a 1999, pues en este intervalo se presentaron desastres naturales en México e Hidalgo. El fenómeno Niño muy fuerte de 1997 a 1998 pudo recrudecer la sequía. Tan sólo en el estado de Hidalgo, se presentaron alrededor de 400 incendios forestales, se perdieron más de 13,000 hectáreas de bosque y más de 370 mil hectáreas de cultivos resultaron afectados por las condiciones áridas (CONAFOR, 2023; DesInventar, 2023). Consecuentemente, en 1999 la precipitación aumentó en todas las regiones geoculturales de la entidad (Figura 2 y 3). Específicamente en el Valle de Tulancingo la precipitación anual alcanzó 897 mm, superando sustancialmente la media anual de aproximadamente 556 mm hasta en 63%, lo cual representó un incremento de más de 200 mm en comparación con 1998 (Estación 13082) y resultó en la inundación de la ciudad de Tulancingo (ej. La Jornada, 2021). Las condiciones citadas pueden relacionarse directamente con las inundaciones, deslizamientos de ladera, etc., que dejaron alrededor de 30 mil damnificados en la entidad, y ocasionaron amplios problemas a nivel nacional (ej. La Jornada, 1999; Herrera et al., 2019).

### **Producción agrícola y ENOS**

Los principales cultivos del estado de Hidalgo son obtenidos mediante agricultura de temporal (T) y de riego (R) y son: Maíz grano (T+R), Alfalfa (R), Cebada grano (T+R) y Tomate rojo (R). Este trabajo considera que la productividad agrícola del estado se relaciona directamente con el incremento o disminución de las lluvias anuales debido al fenómeno El Niño Oscilación del Sur.

Durante la fase Niño el área de cultivos cosechados es significativamente menor a los sembrados, y si bien se esperan pérdidas, año con año éstas suelen ser mayores en comparación con otros intervalos de fases neutrales. Durante la fase Niña los cultivos reflejan un incremento generalizado en la producción, sin embargo cuando este fenómeno es fuerte puede desencadenar una menor producción agrícola (Tabla 3).

**Tabla 3. Se presentan los porcentajes de superficies de cultivo siniestradas con respecto a las sembradas por año. Se puede observar que durante la fase Niño de ONI los porcentajes de pérdida suelen aumentar y en la fase Niña disminuyen.**

AÑO	Porcentaje de Pérdidas										
	Alfalfa	Cebada Grano	Tomate Rojo	Maíz grano	Cultivos estatales	Año	Alfalfa	Cebada Grano	Tomate Rojo	Maíz grano	Cultivos estatales
X	0.4	10.2	5.1	17.4	15.8	x	0.4	10.2	5.1	17.4	15.8
Δ	1.2	12.5	6.7	14.6	12.0	δ	1.2	12.5	6.7	14.6	12.0
1980	2.2	4.6	7.0	15.3	11.1	2001	0.0	4.9	1.8	11.2	9.5
1981	0.2	0.0	17.8	3.3	3.5	2002	0.0	15.9	0.0	14.1	16.2
1982	0.4	40.7	1.1	69.8	58.2	2003	0.0	3.5	2.3	8.0	7.7
1983	0.0	9.8	1.7	17.8	15.0	2004	0.0	2.6	9.4	5.3	5.5
1984	0.0	12.5	4.1	35.3	24.8	2005	0.1	10.8	0.7	8.9	9.3
1985	0.3	4.7	7.6	21.9	19.1	2006	0.0	0.6	3.8	3.5	4.2
1986	0.0	25.5	0.0	41.2	33.1	2007	0.0	6.3	2.4	13.6	9.7
1987	0.0	17.5	11.1	41.6	32.0	2008	0.0	4.7	0.0	4.0	4.9
1988	0.0	23.1	5.4	18.6	18.7	2009	0.0	39.5	0.4	37.8	33.7
1989	0.3	4.3	8.1	18.3	17.1	2010	0.0	6.2	0.0	17.2	14.0
1990	1.0	1.0	8.3	20.0	22.4	2011	5.4	33.4	4.1	23.0	22.6
1991	4.4	2.9	16.3	15.7	24.6	2012	0.0	1.2	0.0	5.3	4.0
1992	0.0	4.6	2.3	18.9	26.1	2013	0.0	3.1	15.1	2.8	3.2
1993	3.8	31.3	3.3	45.6	39.6	2014	0.0	1.3	10.0	2.1	2.6
1994	0.1	28.5	8.1	10.8	16.8	2015	0.0	4.0	0.0	6.2	6.2
1995	0.0	1.1	0.9	27.4	21.1	2016	0.0	1.2	0.0	2.1	2.7
1996	0.0	1.6	6.1	9.1	9.1	2017	0.0	2.0	0.7	4.8	4.7
1997	0.1	2.4	6.1	32.4	23.7	2018	0.0	1.9	0.0	4.9	4.7
1998	0.2	42.3	34.4	9.5	20.9	2019	0.0	1.0	0.0	21.5	12.4
1999	0.1	21.8	10.4	34.4	27.8	2020	0.0	0.3	0.0	9.5	6.4
2000	0.0	2.1	2.4	13.0	10.9	2021	0.0	0.8	0.4	5.2	4.1

Fuente: elaboración propia.

A nivel estatal, durante los años de 1982 y 1986-1988 (Niños fuerte-muy fuerte) las hectáreas cosechadas representaron alrededor de la mitad de las cultivadas, representando un 58 % y 32 % de las superficies totales, respectivamente. Otro ejemplo similar fue 2009, cuando las hectáreas cosechadas fueron cerca de 147 mil y representaron sólo el 33 % de las cultivadas a nivel estatal (Figura 4a).

Hay que resaltar que años ENOS moderados a muy fuertes repercuten en la producción agrícola de todos los cultivos analizados, aunque es menor, o apenas cuantificable, en aquellos que utilizan agricultura de riego y mayor en los de temporal.

La producción de alfalfa, un cultivo de riego, no presenta fluctuaciones significativas con respecto a ENOS en ninguna de sus fases, y la superficie siniestrada desde 1980 tampoco refleja relación alguna (Figura 4b). Por otra parte, la producción de tomate rojo, estrictamente de riego, sí ha sufrido repercusiones durante años Niño. En 1987 y 1998, dos intervalos ENOS moderado a muy fuerte, las superficies siniestradas alcanzaron el 11 y 34 % de la superficie cultivada, respectivamente (Figura 4e).

En los cultivos de temporal, la relación entre la producción y la variabilidad climática es más clara. El Maíz grano de temporal, representa claramente las tendencias de pérdida durante años Niño (Figura 4c). En los años 1982-1983, 1986-1988 y 1997-1998, las hectáreas siniestradas de este producto aumentaron significativamente y, por lo tanto, las áreas cultivadas disminuyeron sustancialmente con respecto a años previos y subsecuentes. En 1982, las hectáreas siniestradas superaron 139 mil y representaron el 70% de las cultivadas. Asimismo, en 2009 representaron más del 37% de la superficie sembrada. Por su parte, el cultivo de cebada grano de temporal también presenta disminuciones significativas de productividad en años Niño, con un comportamiento similar al que refleja el maíz. Prueba de ello es el Niño muy fuerte de 1997-1998 cuando las áreas siniestradas de este producto alcanzaron el 42% de las cultivadas (Figura 4d).

Cabe resaltar que para la mayoría de los cultivos las fases Niña de ENOS pueden traducirse en menores pérdidas de hectáreas de cultivos, pero no existe un comportamiento lineal entre la fortaleza de ENOS y la productividad, aunque cuando este fenómeno es fuerte, las pérdidas de cosecha pueden incrementarse. El año 1999 (Niña fuerte), pudo traducirse en la pérdida de miles de hectáreas que alcanzaron el 28% de

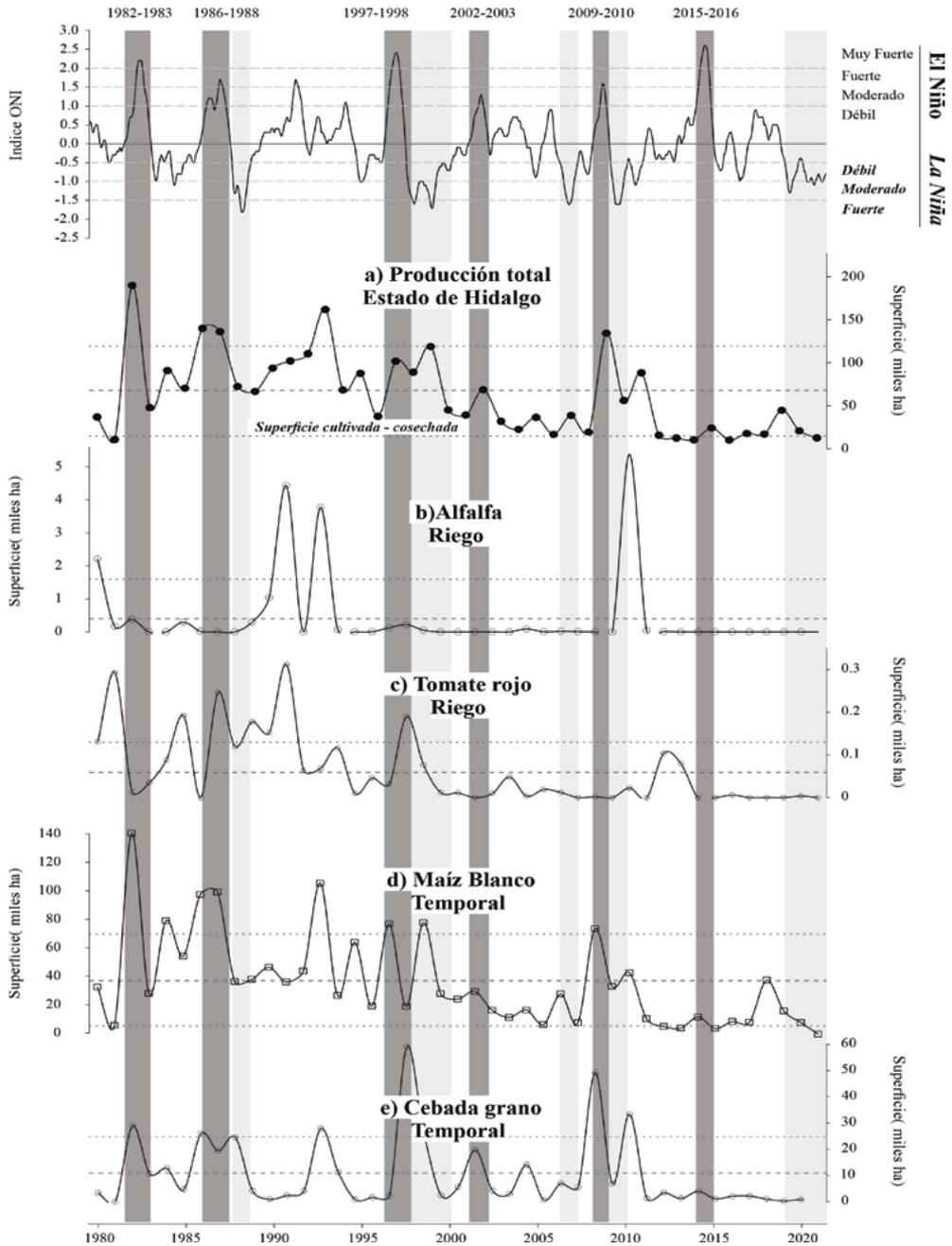
las sembradas en la entidad debido al incremento inesperado de la precipitación y problemas asociados. En este intervalo, los cultivos de tomate rojo, maíz grano y cebada grano alcanzaron 10, 21 y 34% de hectáreas perdidas.

Por otra parte, las mayores pérdidas de cultivos no se relacionan directamente con ENOS, independientemente del cultivo. El año de 1993 las hectáreas siniestradas de maíz grano representaron el 38% de las cultivadas y este comportamiento de pérdida se repite para la producción estatal y de cebada. Durante este intervalo, el Pacífico ecuatorial no desarrolló condiciones Niño relevantes, pues apenas fue débil y los factores que influyeron en la productividad fueron ajenos a este fenómeno climático.

Al igual que en la precipitación, los efectos de ENOS en la producción agrícola dependen de cada fenómeno puntual. En el caso de la fase Niño de 2015 a 2016 (históricamente la más fuerte), las hectáreas siniestradas para maíz grano, cebada y tomate rojo apenas reflejaron incrementos y las hectáreas perdidas a nivel estado tampoco reflejaron cambios significativos.

Al igual que en la precipitación, los efectos de ENOS en la producción agrícola dependen de cada fenómeno puntual. En el caso de la fase Niño de 2015 a 2016 (históricamente la más fuerte), las hectáreas siniestradas para maíz grano, cebada y tomate rojo apenas reflejaron incrementos y las hectáreas perdidas a nivel estado tampoco reflejaron cambios significativos.

**Fig 4. Superficie perdida (sembrada – cosechada) o siniestrada a nivel estatal y para los distintos cultivos desde 1980. Los recuadros gris oscuro representan años Niño y los grises claro años Niña.**



Fuente: elaboración propia.

## Discusión

Las perspectivas de crecimiento poblacional a nivel mundial apuntan a un aumento de casi 2000 millones de personas en las próximas tres décadas y en México se estima que habrá entre 22 y 55 % más población que en 2010, es decir entre 138 y 174 millones de habitantes en 2050, respectivamente (Mendoza-Ponce et al., 2019; ONU, 2022). Esta creciente población incrementará la demanda alimentaria entre un 60 y 100 % para algunos de los cultivos más representativos del mundo (ej. maíz, arroz, trigo, soya) y la agricultura deberá producir ca. 50 % más de los alimentos que se obtenían en 2012 (Ray et al., 2013; FAO, 2017). Sin embargo, las tendencias agrícolas actuales de producción no garantizan que dicha meta pueda ser alcanzada, pues se requieren cambios drásticos de los modos de producción y consumo en un entorno cambiante con variabilidad hidrológica natural y antrópica (Gerten et al., 2020). Para México, la producción de alimentos necesaria para 2030 y años posteriores puede ser alcanzada pero se necesita aumentar la productividad, rendimientos, ampliación de la frontera agrícola y una mejor distribución de recursos (Sosa-Baldivia y Ruíz Ibarra, 2017; Torres y Rojas, 2018).

Además de los retos de producción, se deben considerar las repercusiones de ENSO en la agricultura y su recrudescimiento por el cambio climático. A nivel mundial la fase cálida de ENSO (El Niño) impacta negativamente alrededor de 22-24 % de la superficie cosechada de cereales y legumbres, siendo México uno de los países más afectados en la producción de maíz y trigo. La fase fría de ENSO (La Niña) se traduce en impactos negativos menores a su contraparte, donde el 9-13 % de las cosechas son afectadas principalmente en el hemisferio sur (Iizumi et al., 2014). Durante La Niña, la producción de maíz en México suele ser menor, sobre todo en el sur del país, aunque no representa grandes pérdidas o se encuentran cercanas a la media. Este mismo comportamiento es visible en la producción agrícola del estado de Hidalgo, donde los años de El Niño han potenciado las hectáreas de cultivos siniestrados y años La Niña las han frenado; con excepción de la fase de 1998/99 que, al igual que en Estados Unidos, Perú, otros países y diferentes partes de la República Mexicana generó grandes pérdidas económicas y alteraciones ambientales mayores (Magaña, 1999; Adams, et al., 1999; Enfield, 2001; Colas et al., 2008).

El efecto del cambio climático actual en la producción agrícola también debe formar parte de la planeación, pues los domos de calor, sequías e inundaciones serán más frecuentes, y representarán una gran amenaza para la seguridad alimentaria (IPCC, 2021; Dobler-Morales y Bocco, 2021; Estrada et al., 2022). En este contexto,

el aumento de temperaturas globales intensificará la severidad y frecuencia de “El Niño Oscilación del Sur” a corto, mediano y largo plazo (Cai et al., 2014; Yang et al., 2018). Para Cai et al. (2015) la fase Niña extrema podría ocurrir cada 13 años (actualmente ocurre cada 23 años) y el 75 % de este incremento tendría lugar después de El Niño extremo. Lo anterior representa grandes riesgos para la población, pues fases similares ocurrieron entre 1982/83 y 1997/99 y propiciaron grandes pérdidas económicas, sociales y ambientales alrededor del mundo, debilitando y condicionando las actividades económicas preponderantes (Changnon, 1999; Takahashi et al., 2001; Harris y Robinson, 2001).

Las proyecciones de cambio de ENOS y su efecto en la agricultura en México, repercutirán en diversos ámbitos, especialmente en la producción y seguridad agroalimentaria nacional y de la población más pobre (Feng et al., 2010). De acuerdo con Estrada et al. (2022), la disminución de la precipitación y el aumento de la temperatura a nivel nacional a final del siglo, permearán en el decremento del rendimiento del maíz, arroz, trigo, sorgo, soya y azúcar de caña hasta un 50 % a finales de siglo, en comparación con la media entre 2003 y 2012; generando pérdidas económicas de hasta 38 mil millones de dólares a final del siglo, es decir, casi el doble de la producción agrícola actual. El cultivo de maíz de temporal será especialmente vulnerable, pues su menor producción podría afectar a los pequeños agricultores y de autoconsumo.

**La alteración climática en Hidalgo tendrá consecuencias en el campo y pondrá en entredicho la seguridad agroalimentaria de la entidad como ya lo ha hecho con anterioridad.**

Un marco referencial de los efectos del clima árido extremo en la agricultura y ambiente de México serán los años próximos. El desarrollo de la fase El Niño desde finales de 2023 y su persistencia en 2024, permitirá que los termómetros superen los máximos históricos mundiales y se alteren las condiciones atmosféricas-oceánicas planetarias (NOAA climate, 2023). El entorno actual (junio 2023) donde las temperaturas máximas mensuales históricas han sido equiparadas o superadas en la mayor parte de la entidad, brinda un panorama claro sobre el futuro inmediato de Hidalgo y su vulnerabilidad. Por ejemplo, en Pachuca de Soto los termómetros han marcado 33 °C y superado la máxima histórica de 1998 por 4 °C. Una situación similar reflejan los municipios del Valle del Mezquital (principales productores agrícolas de la entidad), donde las temperaturas son equiparables a sus máximas mensuales previas (SMN, 2023; La Jornada Hidalgo, 2023).

Si bien no existen proyecciones hidrometeorológicas precisas para el estado de Hidalgo, la alteración climática tendrá consecuencias en el campo y pondrá en entredicho la seguridad agroalimentaria de la entidad como ya lo ha hecho.

El entorno más cálido esperado en los siguientes años y el resto del siglo, se traducirá en una mayor vulnerabilidad agrícola. La producción de maíz deberá recibir especial atención, pues a mayores temperaturas y aridez los impactos negativos se incrementarán tanto en los cultivos de riego como de temporal, lo cual podría ser secundado por otros productos (Murray-Tortarolo et al., 2018; Ureta et al., 2020; Estrada et al., 2022). De esta manera, si se quieren solventar los estragos del cambio climático en la entidad, la optimización de la tecnología agrícola deberá ser reforzada y optimizada, enfocándose en la de temporal que requiere menos inversión, contrario a la de riego que es costosa e inviable para los agricultores de Hidalgo y la mayor parte del país (Ureta et al., 2020). Asimismo, la implementación de un sistema de alerta temprana meteorológica estatal podría representar grandes beneficios para la entidad y su sistema agrícola (WMO, 2022).

## Conclusiones

El fenómeno El Niño Oscilación del Sur impacta significativamente en la precipitación de las distintas regiones geoculturales del estado de Hidalgo y la productividad agrícola de la entidad. Esta respuesta no es lineal con respecto a la fortaleza ENSO y depende de cada fenómeno individual. A continuación se describen algunas conclusiones a considerar.

1.- El fenómeno ENSO repercute ampliamente en la hidrología del estado de Hidalgo, sin embargo su impacto es dependiente de las variables geográficas locales y particularidades de cada fenómeno. La Sierra de Tenango, Sierra Baja y Huasteca exhiben menor sensibilidad que las demás Regiones Geoculturales.

2.- De manera general, las fases El Niño disminuyen la precipitación en toda la entidad y las fases La Niña la aumentan o mantienen cercada a la media de acuerdo con cada estación meteorológica analizada. Cada fenómeno presenta respuestas diferentes no estandarizadas.

3.- Las afectaciones de El Niño en la agricultura suelen ser mayores a las de La Niña. Cuando estos fenómenos son severos y se intercalan de un año al otro, las repercusiones económicas, sociales y ambientales en el estado de Hidalgo, México y el mundo se multiplican.

4.- Los cultivos de temporal son más susceptibles a ENSO que los de riego, aunque también son afectados. Mientras los cultivos de alfalfa no presentan sensibilidad a este fenómeno climático, el maíz, cebada y tomate rojo si son sensibles y en consecuencia han

alcanzado pérdidas de hasta un 42 % de las hectáreas sembradas.

5.- En fases La Niña, la agricultura del estado de Hidalgo mantiene o eleva ligeramente su producción. Sin embargo, en fases severas se han presentado pérdidas de cultivos de hasta el 30 %.

6.- La alteración de ENSO debido al cambio climático actual debe de considerarse como un tópico de gran importancia para la planeación pública y las prácticas agrícolas del estado de Hidalgo y México. El panorama no es alentador bajo los esquemas de gestión agroalimentaria, social, política y ambiental por lo que es imperante la adopción inmediata de medidas de mitigación y adaptación ante el cambio climático.

## Bibliografía

- Adams, R. M., Houston, L. L., McCarl, B. A., Tiscareño, M., Matus, J., & Weiher, R. F. (2003). The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-southern oscillation (ENSO) early warning system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 115(3-4), 183-194.
- Banco de México, 2022. Sequía en México y su Potencial Impacto en la Actividad Económica. Informe trimestral abril-junio 2022. Banco de México. pp. 30-35.
- Barry, R. G., Chorley, R. G., 2004. Topical weather and climate. En. *Atmosphere weather and climate*. Routledge. 262-306 pp.
- CONAFOR, 2023; Sistema Nacional de Información Forestal. Histórico Incendios Forestales 1970-2022. Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/>
- CONAGUA, 2011. Atlas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Mexico City, DF, Mexico, 133.
- DesInventar, 2023. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. Recuperado de <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=mex&continue=y>
- Diffenbaugh, N.S., Ashfaq, M., Scherer, M., 2011. Transient regional climate change: analysis of the summer climate response in a high-resolution, centuryscale, ensemble experiment over the continental United States. *Journal of Geophysical Research*, 116(D24).
- Diffenbaugh, N.S., C.B. Field, 2013. Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. *Science*, 341(6145), 486-491.
- Feng, S., Krueger, A.B., Oppenheimer, M., 2010. Linkages among climate change, crop yields and Mexico-US cross-border migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(32), 14257-14262.
- Glantz, M. H., 2004. El Niño. En: Oliver J., *Encyclopedia of world climatology*. Springer. 349-351 pp.
- Harris, R. L., & Robinson, S. (2001). Economy-wide effects of El Niño/Southern Oscillation (ENSO) in Mexico and the role of improved forecasting and technological change (No. 607-2016-40290).
- Herrera, E., Magaña, V., Morett, S., 2019. Relación entre eventos extremos

- de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova scientia*, vol. 10, núm. 21, Universidad de La Salle Bajío A. C., Coordinación de Investigación.
- INEGI, 2017. Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 674 p.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.
- 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* [Masson-Delmotte, V., 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, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- La Jornada, 1999. En Hidalgo hay 30 mil damnificados y 20 mil hectáreas sin estradas. Recuperado de: <https://www.jornada.com.mx/1999/10/07/al.html>
- La Jornada, 2021. Sobreviviente de la inundación de 1999 en Tulancingo, su mirada a 22 años. Recuperado de <https://lajornadahidalgo.com/sobreviviente-de-la-inundacion-de-1999-en-tulancingo-su-mirada-a-22-anos/>.
- Magaña, V., Pérez, J. L., & Álvarez, A. C. C. (1998). El fenómeno de El niño y la oscilación del sur, sus impactos en México. *Ciencias*, (51), 14-18.
- Magaña, V.O., Vázquez, J.L., Pérez, J.L., Pérez, J.B., 2003. Impact of El Niño in precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional* 42, 313-330.
- Martínez Austria, P.F. and C. Patiño Gómez, (eds.) 2010. *Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México, Volumen III. Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morales, Mexico, 162 pp.
- Oppenheimer, M., 2013. Climate change impacts: accounting for the human response. *Climatic Change*, 117, 439-449.
- Pavón y Sánchez Rojas, 2011. El Niño y los incendios en matorrales semiáridos de México. En: Sánchez-Rojas, G. Pavón N. P. & C. Ballesteros-Barrera. *Cambio Climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo ISBN 978-607-482-152-9
- Saldaña-Zorilla, S. and S. Sandberg, 2009. Impact of climate-related disasters on human migration in Mexico: a spatial model. *Climatic Change*, 96(1-2), 97-118.
- Velazco-Hernández, M. A., Morales-Acoltzi, T., Bernal Morales, R., Zagoya-Martínez, J., et al., 2021. Relación del Índice ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) en cultivos de Tlaxcala, México: 1980-2016. *Regiones y Desarrollo Sustentable*. XXI: 40.