



JALISCO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO



UNA VISIÓN A FUTURO

DIAGNÓSTICO GENERAL



Ricardo Villanueva Lomelí
Rectoría General

Héctor Raúl Solís Gadea
Vicerrectoría Ejecutiva

Guillermo Arturo Gómez Mata
Secretaría General

Juan Manuel Durán Juárez
**Rectoría del Centro Universitario
de Ciencias Sociales y Humanidades**

Jocelyne Suzanne Pierrette Gacel
División de Estudios de Estado y Sociedad

Lourdes Sofía Mendoza Bohne
Departamento de Estudios Socio Urbanos

**Jalisco ante el cambio climático.
Una visión a futuro**

Coordinación General
César Omar Avilés González
Héctor Hugo Ulloa Godínez

Texto
Hermes Ulises Ramírez Sánchez



César Omar Avilés González
Dirección

IAM | INSTITUTO DE ASTRONOMÍA
Y METEOROLOGÍA

Héctor Hugo Ulloa Godínez
Dirección

Agosto de 2024



JALISCO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

DIAGNÓSTICO GENERAL

Hermes Ulises Ramírez Sánchez



 **CENTRO DE ESTUDIOS
ESTRATÉGICOS PARA EL DESARROLLO**

JALISCO A FUTURO
CENTRO DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS PARA EL DESARROLLO
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



IAM | INSTITUTO DE ASTRONOMÍA
Y METEOROLOGÍA



ÍNDICE

Diagnóstico general del cambio climático en Jalisco	5
Introducción	6
Escenarios regionales de cambio climático para México	13
Impactos del cambio climático en el sector hídrico en México	20
Impactos del cambio climático en el sector salud en México	23
El impacto del cambio climático en el sector agropecuario de México	28
El impacto del cambio climático en la biodiversidad de México	30
Escenarios regionales de cambio climático para Jalisco	32
Proyecciones regionales de escenarios de cambio climático en el estado de Jalisco	35
El impacto del cambio climático en los diferentes sectores en Jalisco.....	39
Vulnerabilidad en las regiones del estado de Jalisco	42
Conclusiones	44
Bibliografía.....	46



DIAGNÓSTICO GENERAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN JALISCO

Los cambios en las temperaturas y patrones de precipitación estimados para los diferentes escenarios de cambio climático tendrán un impacto en todos los sectores en el mundo, así como en México y en Jalisco. Las variaciones de temperatura, precipitaciones, humedad relativa, deshielo de glaciares de montaña, expansión de los cuerpos de agua por dilatación térmica y el consecuente aumento del nivel del mar en las últimas décadas en la zona intertropical en el que se encuentra México y Jalisco, evidencian la alta vulnerabilidad del país ante el cambio climático.

De acuerdo al último informe del IPCC, en latitudes medias y zonas subtropicales se prevén importantes incrementos de temperatura y disminuciones en la precipitación y por ende en los escurrimientos, lo que ocasionará escasez y presión sobre los recursos hídricos, con impactos en los demás sectores como salud, agricultura y ganadería, ecosistemas marinos, desarrollo urbano, biodiversidad, industria, energía, vivienda, movilidad, economía, aire, residuos, entre otros. El objetivo del presente capítulo es presentar proyecciones regionales de temperatura y precipitación para México en general y en Jalisco en particular, bajo los escenarios de cambio climático AR6 del IPCC, mejorando las proyecciones de los Modelos de Circulación General Océano-Atmósfera y estimar los posibles impactos del cambio climático en México y en Jalisco.

INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones con el cambio climático se refiere a sus posibles efectos en los recursos hídricos y por consecuencia en todos los demás sectores. De hecho, el clima, el ciclo hidrológico y el desarrollo de un país están íntimamente relacionados y es difícil definir las fronteras entre ellos; el clima depende de variables relevantes del ciclo hidrológico, como la humedad relativa, precipitación, evaporación, entre otras; y la productividad de los cultivos, la ganadería, la producción de energía, la biodiversidad depende del clima y de la disponibilidad del agua. El sistema climático y el ciclo hidrológico están vinculados estrechamente con los océanos, como lo evidencia el fenómeno del ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) (Voituriez y Jacques, 2000), de lo que depende la salud de los ecosistemas y recursos marinos, así como la biodiversidad. Por supuesto, la dinámica de los océanos también tendrá cambios importantes por efecto del calentamiento global, mismos que interactuarán con el sistema climático global. Los cuerpos de agua continentales son grandes reguladores del clima creando microclimas. Así, el incremento de temperatura en los escenarios de cambio climático tendrá repercusiones en el ciclo hidrológico, global, regional y local, y por consiguiente, en la disponibilidad de los recursos hídricos en las zonas más vulnerables de México del cual dependen de sobremanera las demás actividades económicas y el desarrollo del país.

El VI informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha concluido que: *“A.1 Es inequívoco que la influencia humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra. Se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera; A.3 El cambio climático inducido por el hombre ya está afectando a los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. La evidencia de cambios observados en extremos como olas de calor, fuertes precipitaciones, sequías y ciclones tropicales y, en particular, su atribución a la influencia humana,”* (IPCC AR6, 2021).



Los efectos del cambio climático global se están observando ya con mayor o menor intensidad en distintas regiones del mundo. La figura 1 muestra las anomalías de: a) temperatura y b) precipitaciones globales; en la figura 2 se muestra el cambio del nivel del mar global (IPCC, 2021). El incremento de temperatura ha sido importante a partir de la década de los setentas.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), indica que la temperatura promedio global sobre los continentes y los océanos durante el año 2020 ha sido de las tres más cálidas de los registros. Esto significó una anomalía positiva de 1.2 °C, comparado con la era preindustrial (1880-1900), como se observa en la figura 3. El promedio de la temperatura superficial de los últimos diez años ha sido de las más cálidas. Así, la década 2011-2020 ha sido la más cálida a escala global.

Según el AR6, en comparación con 1850-1900, es muy probable que la temperatura superficial global durante 2081-2100 sea superior de 1.0 a 1.8 °C en el escenario de emisiones de GEI muy bajas (SSP1-1.9), de 2.1 a 3.5 °C en el escenario de GEI intermedio (SSP2-4.5) y de 3.3 a 5.7 °C en el escenario de GEI muy elevadas (SSP5-8.5). Se estima que los escenarios más probables de aquí a fin de siglo sean el SSP2-4.5 y SSP3-7.0 (IPCC AR6, 2021).

Los pronósticos de elevación de temperatura para estos escenarios se muestran en la tabla 1 (IPCC AR6, 2021). En el escenario SSP2-4.5 (“escenario intermedio”), la temperatura promedio mundial esperada al final del siglo se incrementará de 2.1 °C a 3.5 °C. En el segundo escenario más probable SSP3-7.0 (escenario crítico), el incremento esperado será de 2.8 a 4.6 °C. En la medida en que la emisión de GEI sigue creciendo, inclusive a una tasa cada vez mayor que la esperada, las previsiones pesimistas parecen estar haciéndose realidad.

México tiene gran variedad de biomas, las zonas norte y central son muy áridas y semi-áridas y ocupan el 56% del territorio, las montañas y llanuras costeras del Pacífico, Golfo de México y parte nororiental de Yucatán representan el área subhúmeda que representa el 37% y las áreas húmedas se ubican en el resto del territorio con un 7%. Su ubicación entre dos océanos y topografía compleja aumenta la exposición del país a eventos hidrometeorológicos extremos como ciclones tropicales, heladas, olas de calor e inundaciones.

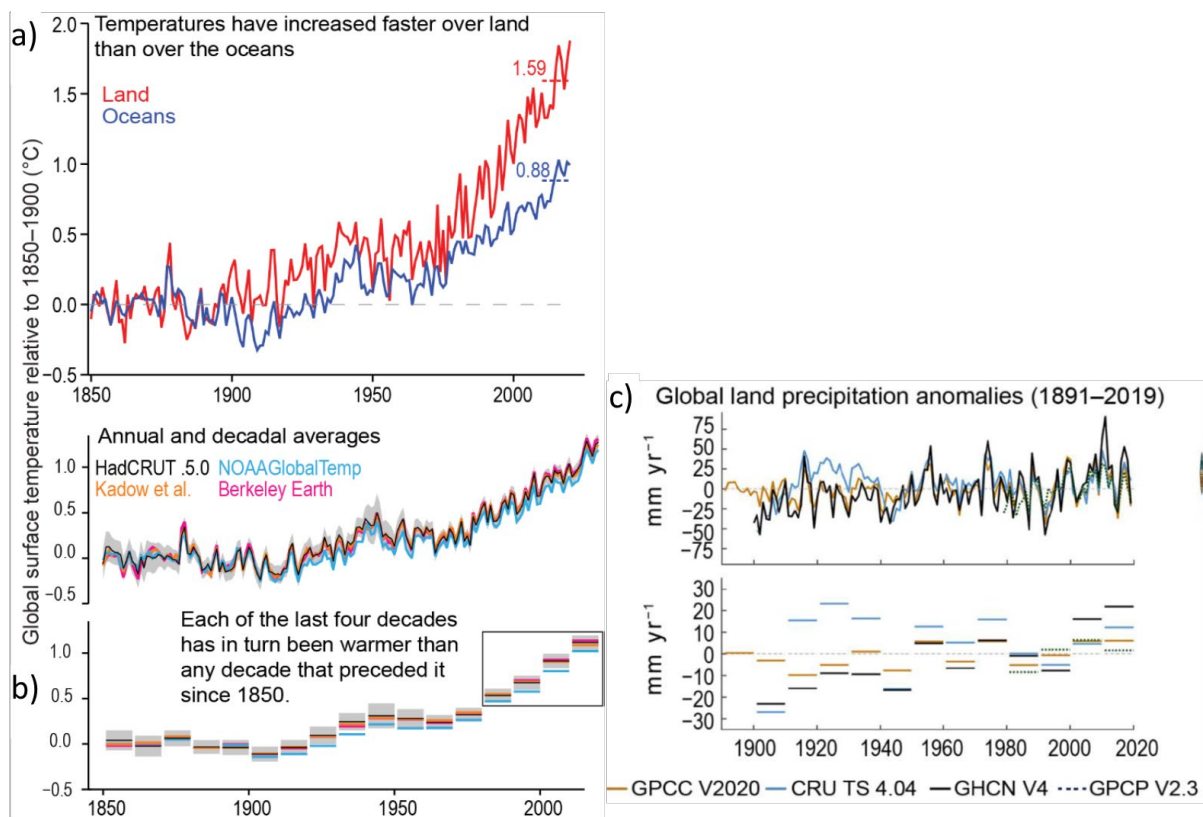


Figura 1. Evolución de la temperatura de la superficie de la Tierra. a) Temperatura a partir de datos instrumentales en el período 1850-2020, (panel superior) series temporales medias anuales multiproducto evaluadas para la temperatura de los océanos (línea azul) y la temperatura de la tierra (línea roja) e indicando el calentamiento hasta los últimos 10 años; y b) promedios anual y decenalmente para los conjuntos de datos del GMST. El sombreado gris muestra la incertidumbre asociada a la estimación (Morice et al., 2021). c) Cambios en la precipitación observada. Series temporales anuales y medias decenales desde 1891 hasta la fecha en relación con la climatología de 1981-2010 (Gulev et al. IPCC AR6, 2021).

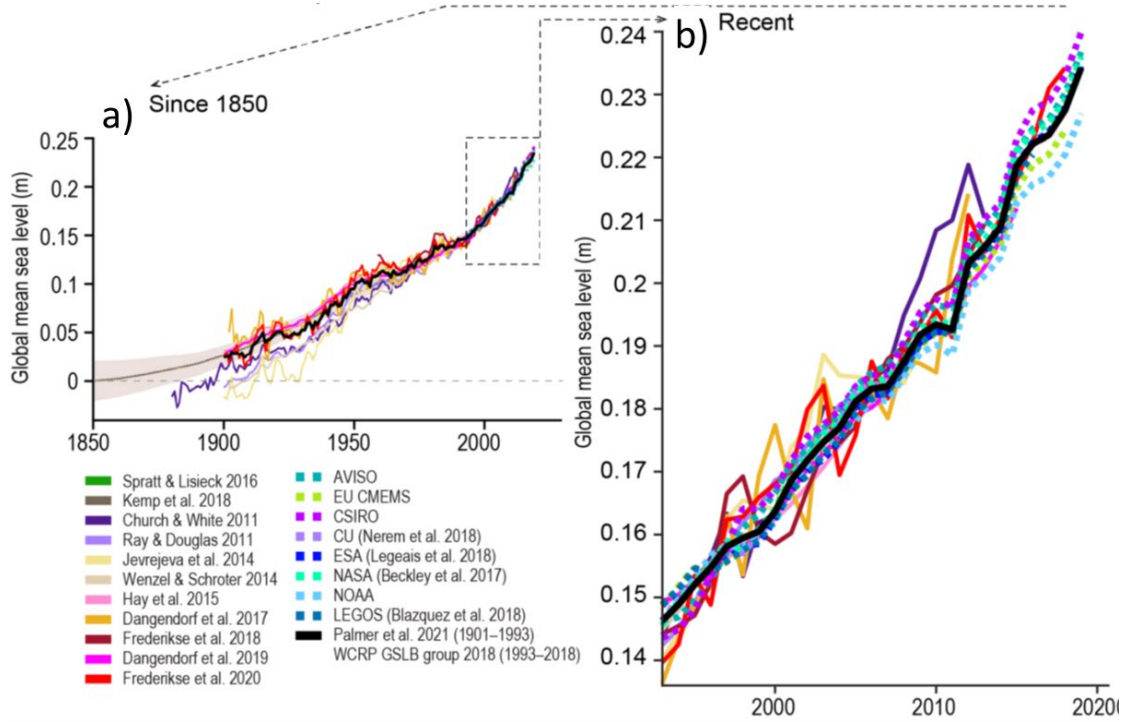


Figura 2. Cambios en el nivel medio mundial del mar. a) Estimaciones basadas en mareógrafos y altímetros desde 1850. (b) El período de registro más reciente de los registros basados en mareógrafos y altímetros (Gulev et al. IPCC AR6, 2021).

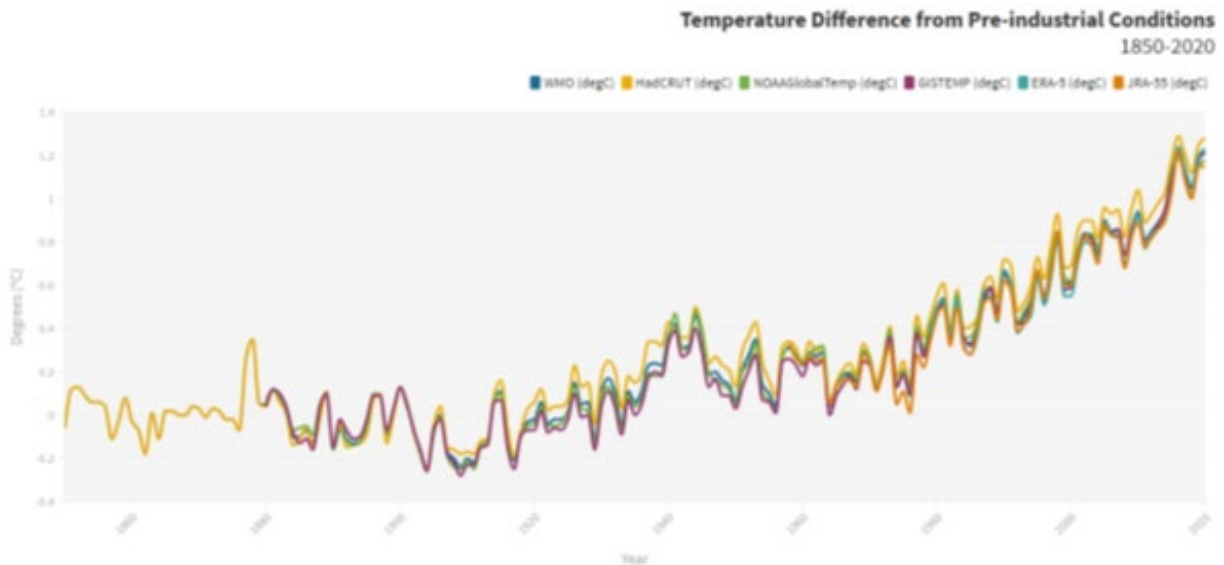


Figura 3. Anomalia de temperatura promedio del aire a dos metros a nivel global en el 2020, de diferentes centros de investigación como: ERA5 (Servicio de Cambio Climático Copernicus de ECMWF, C3S); GISTEMPv4 (NASA); HadCRUT4 (Met Office Hadley Center); NOAA GlobalTemp (NOAA), JRA-55 (JMA) y WMO (CONAGUA, 2021).

Scenario	Near term, 2021–2040		Mid-term, 2041–2060		Long term, 2081–2100	
	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 to 1.7	1.6	1.2 to 2.0	1.4	1.0 to 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.7	1.3 to 2.2	1.8	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 to 1.8	2.1	1.7 to 2.6	3.6	2.8 to 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 to 1.9	2.4	1.9 to 3.0	4.4	3.3 to 5.7

Tabla 1. Cambios en la temperatura global de superficie, evaluados por períodos de 20 años y en los cinco escenarios de emisiones considerados. Las diferencias de temperatura en relación con la temperatura media de la superficie mundial del período 1850-1900 se indican en °C. (IPCC, 2021).

El clima de México presenta diferencias regionales debido a su topografía y ubicación geográfica. La temperatura promedio del país varía de 15 a 20 °C en las zonas altas centrales; de 23 a 27 °C en las tierras bajas costeras. Las variaciones estacionales son mínimas en el sur, pero oscilan entre 10 °C y 30 °C en verano en las zonas más septentrionales del país. La temperatura media anual de México es de 20.6 °C, con temperaturas medias mensuales que oscilan entre los 15 °C (enero) y los 25 °C (junio). La precipitación media anual es de 725 mm, con precipitaciones constantes durante todo el año, pero sobre todo de junio a octubre. En el extremo norte, la precipitación es inferior a 50 mm por mes durante todo el año, mientras que las regiones del sur y las tierras altas centrales tienen estación húmeda de junio a octubre, con un promedio de 550 mm por mes en las regiones más al sur. De junio a noviembre, las costas del Atlántico y el Pacífico son vulnerables a huracanes y el clima está fuertemente influenciado por eventos como El Niño – Oscilación del Sur (ENOS), que proporciona clima húmedo y fresco en invierno y condiciones más cálidas y secas en verano.

En México se observa un patrón de incremento de temperatura, con valores mayores al promedio mundial, las anomalías para el periodo 1950-2000 se muestran en la figura 4 (CONAGUA, 2021), y las temperaturas para el periodo 1901-2020 en la figura 5 (CCKP, 2022). La tasa de crecimiento de temperatura promedio en el país es de 0.3 °C/década en los últimos 20 años y de 0.72 °C en la última década, valores que confirman la alta vulnerabilidad de México ante el cambio climático.

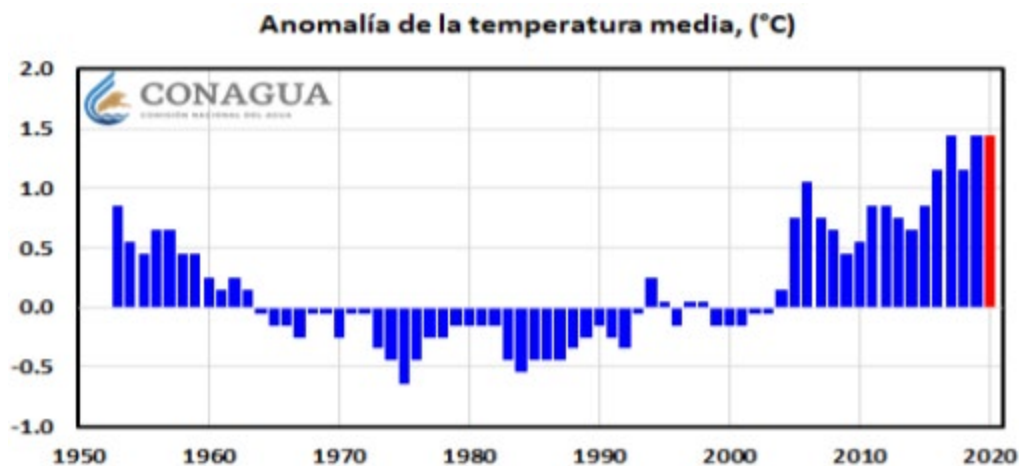


Figura 4. Anomalía de la temperatura media anual en grados Celsius (°C), la barra en color rojo corresponde a la anomalía nacional estimada en 2020. Elaborado en base a las estimaciones desde 1953 del Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2021).

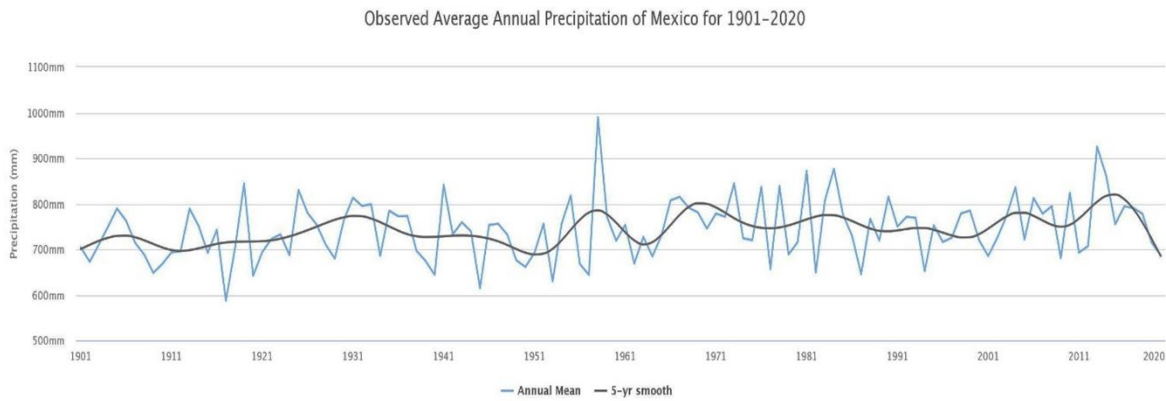


Figura 5. Temperatura media anual y quinquenal en el periodo 1901-2020 (CCKP, 2022).

En cuanto a las precipitaciones tomando como base el periodo 1941-2020, 1943 es el año más seco y 1958 el más lluvioso. El año 2020 es el segundo año consecutivo con lluvias por debajo del promedio y con él se completan 5 años con lluvias deficitarias entre 2011-2020 (Figura 6). La precipitación promedio anual y quinquenal en el periodo 1901-2020 se presenta en la figura 7.



En lo que respecta a las variaciones del nivel del mar, un estudio del INE-SEMARNAT-UNAM (2008), reportó que los incrementos del nivel del mar de las costas de México fueron muy variables: En Ciudad Madero 9.16 mm/año, Guaymas 4.23 mm/año, Ensenada 2.73 mm/año, Progreso 2.45 mm/año, Cd. del Carmen 3.38 mm/año, Manzanillo 3.28 mm/año, Veracruz 1.89 mm/año, Salina Cruz 1.13 mm/año y Acapulco -2.44 mm/año. Estas diferencias se deben al incremento del nivel del mar por expansión térmica y deshielo resultado del cambio climático, y se adicionan o se sustraen según la región, fenómenos geológicos como subsidencia por choque de placas tectónicas o elevación continental por descarga de sedimentos en los deltas de ríos.

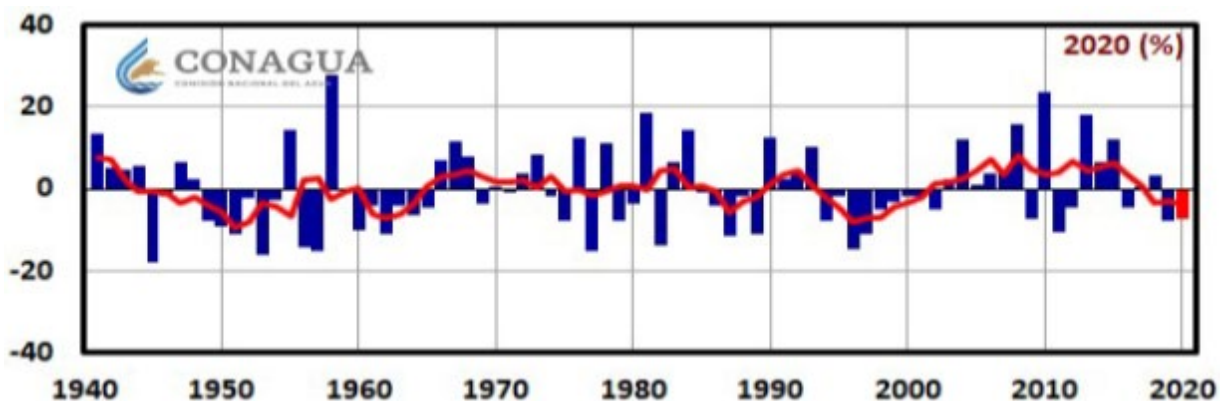


Figura 6. Anomalías de precipitación a nivel nacional anual (barras azules), media móvil de cinco años (línea roja) (CONAGUA, 2021).

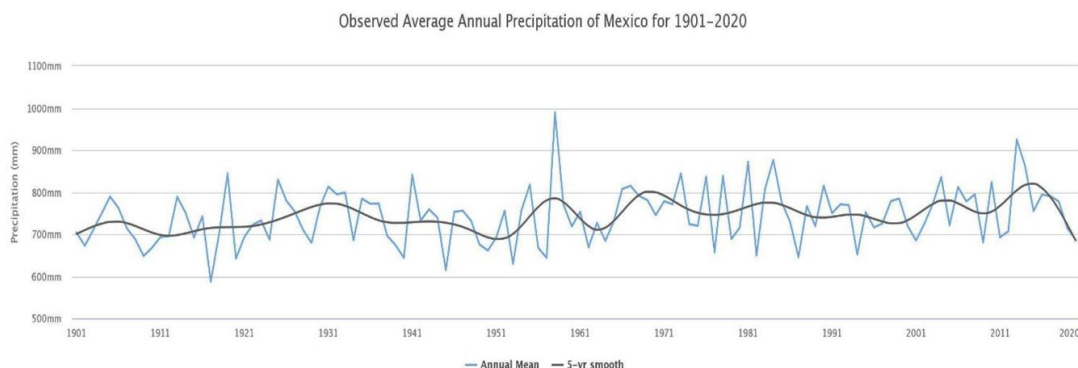


Figura 7. Precipitación media anual y quinquenal en el periodo 1901-2020 (CCKP, 2022).

Las condiciones futuras del clima dependerán de la cantidad de emisiones de GEI en el mundo, particularmente de bióxido de carbono (CO_2). Así, las predicciones científicas se elaboran en términos de escenarios, que dependerán de la capacidad de nuestra civilización de controlar sus emisiones de GEI, así como de la protección de los biomas, por ejemplo, mantener las regiones selváticas y boscosas, que pueden capturar parte importante del CO_2 emitido a la atmósfera.

El conjunto de proyecciones regionales de temperatura y precipitaciones en condiciones de los escenarios de cambio climático AR6 del IPCC para México, se utilizarán para describir los posibles escenarios de temperatura y precipitación; y permitirán evaluar la vulnerabilidad de México y Jalisco ante el cambio climático de aquí a fines de siglo (Ramírez et al, 2022 a, b y 2023 a, b).

Para el presente capítulo los datos de proyección climática son los datos modelados de las compilaciones de modelos climáticos globales de los Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP), supervisados por el Programa Mundial de Investigación del Clima. Los datos presentados son CMIP6, derivados de la Sexta fase de los CMIP y forman la base de datos de los Informes de Evaluación del IPCC. Esta herramienta de previsibilidad climática, utilizada como método estadístico de reducción de escala, permite preparar proyecciones regionales de cambio climático de temperatura y precipitación. De esta manera, se obtienen los cambios de temperatura y precipitación para el presente siglo y junto con proyecciones de vulnerabilidad, se estiman los impactos potenciales. Los datos de proyección se presentan con resolución de $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ ($100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$). De esta manera, se preparó un conjunto de proyecciones regionales sobre el cambio climático para el período 2020-2099 (Ramírez et al, 2022 a, b y 2023 a, b).

La capacidad de generar escenarios durante un largo período permitió reproducir los parámetros climáticos, así como la respuesta del clima regional al mayor forzamiento radiativo que resulta del incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). Así, se obtuvo la tendencia de temperatura y precipitación a escala regional para México entre 2020 y 2099 (Ramírez et al, 2022 a, b y 2023 a, b).

Se utilizaron datos complementarios para los análisis de impactos, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se tomó del archivo de datos de la NASA (Tucker et al. 2005); el cual permitió evaluar el impacto de las condiciones climáticas anómalas en la vegetación, con valores que van desde -1.0 a 1.0 , los valores negativos indican nubes y agua, los valores positivos cercanos a cero, que indican suelo desnudo, y valores positivos más altos que van desde vegetación escasa ($0.1-0.5$) hasta vegetación verde densa (0.6 y superior). Así, las anomalías positivas corresponden a condiciones de vegetación saludable y las negativas a la vegetación estresada. Asimismo, se utilizaron Índices de evapotranspiración de precipitación estandarizada (SPEI) como indicador de sequía. Los valores positivos indican un balance de agua positivo (condiciones húmedas) y los valores negativos indican un balance de agua negativo (condiciones secas). Este indicador evaluado

en períodos de acumulación de 12 meses, se puede utilizar para indicar los riesgos asociados con la sequía hidrológica prolongada, como la reducción de la recarga del embalse y la disponibilidad de agua. Sin embargo, excluye factores que influyen en la sequía, como la geología y los suelos, el caudal, el derretimiento de los glaciares y la evapotranspiración. Este indicador debe usarse con cuidado en regiones típicamente áridas y estaciones secas.

Asimismo, se estimó la humedad del suelo (m^3/m^3) que es el contenido medio de agua de la capa superior del suelo (0 a 5 cm de profundidad) y puede utilizarse como indicador del alcance y duración de la sequía. Existe una fuerte interrelación entre la humedad del suelo, la vegetación y el clima a corto y largo plazo. La humedad del suelo influye en el tipo y condición de la vegetación y a su vez, en la evapotranspiración. El cambio en la humedad del suelo puede tener impactos considerables en la productividad agrícola y ganadera, la salud del ecosistema y la seguridad alimentaria. La humedad del suelo se puede utilizar para anticipar y gestionar los riesgos relacionados con la sequía y los peligros secundarios (incendios forestales), respaldar los modelos de seguros de cultivos y guiar la programación de resiliencia agrícola a largo plazo. Finalmente, esta información se complementó con mapas de episodios de sequía en México durante las últimas dos décadas (Ramírez et al, 2022 a, b y 2023 a, b).

Los datos históricos para establecer la climatología de referencia de México fueron tomados de la Unidad de Investigación Climática (CRU) de la Universidad de East Anglia. La figura 8 presenta la climatología para el periodo 1990-2020, los datos presentan una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (50 km x 50 km) para a) la temperatura media anual, b) precipitación anual acumulada y temperaturas mínima, máxima, media y precipitación mensual durante el periodo 1991-2020.

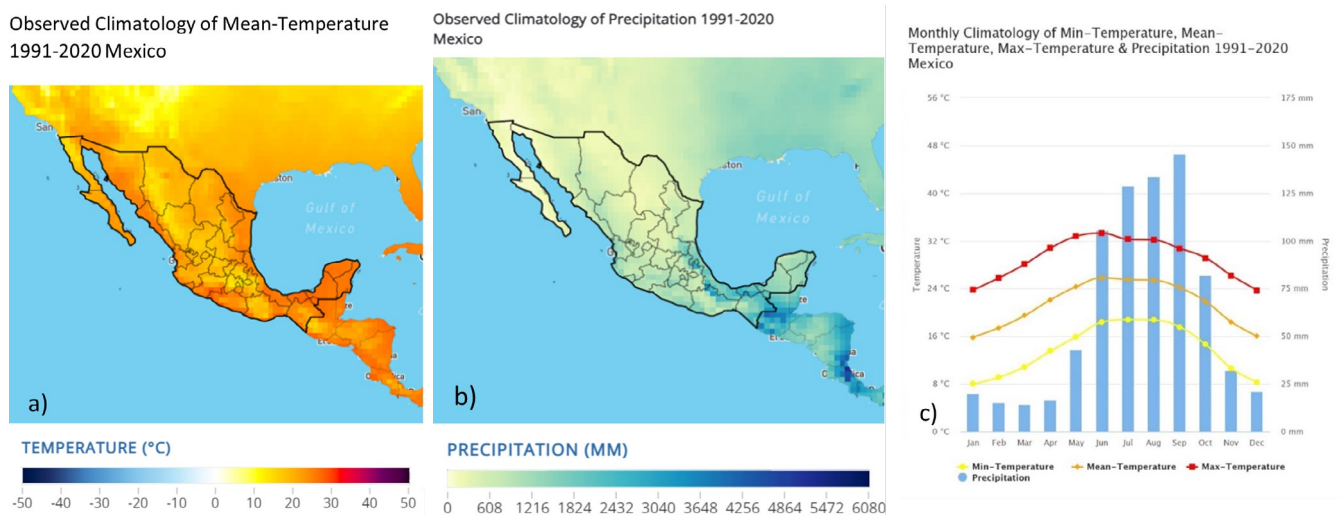


Figura 8. Climatología a alta resolución espacial con datos CRU (50×50 km) (período base 1991-2020) observada de a) temperatura media anual ($^\circ\text{C}$), b) precipitación media anual (mm) y c) temperaturas mínima, máxima, media y precipitación mensual. (CCKP, 2022).

La tendencia al cambio en la temperatura y la precipitación son una medida de la sensibilidad del clima al aumento del forzamiento radiativo. Este último ha aumentado en los últimos años, provocando un clima más cálido (IPCC, AR6 2021). La tendencia lineal sobre México entre 1991-2020 es capturada por el conjunto regional de escenarios de cambio climático del CMIP6.

Para las proyecciones del presente siglo, las fuentes de incertidumbre a escala mundial se relacionan con escenarios de emisiones de GEI. Las diferencias entre los experimentos de cambio climático se han utilizado como medida de incertidumbre, concluyendo que cuanto mayor es la dispersión entre los modelos, mayor es la incertidumbre en la proyección.

ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA MÉXICO

La mayoría de los estudios coinciden en que la temperatura aumentará en las próximas décadas y que afectará el ciclo hidrológico a escala global y regional (IPCC 2007, 2021, Alcamo et al. 2007). Se espera que los impactos de los cambios permanentes del clima tengan un gran número de consecuencias socioeconómicas, particularmente en regiones donde se han producido varios desastres climáticos naturales en las últimas décadas. El IPCC (2007, 2021) ha concluido que México estará entre las regiones donde el déficit de agua se exacerbará debido a los incrementos de temperatura y reducción de las precipitaciones. Los escenarios regionales de cambio climático obtenidos a través de CMIP6 permiten mostrar los contrastes en los cambios climáticos proyectados entre regiones de México. Se espera que el aumento de la temperatura varíe, debido a que los mecanismos dinámicos que controlan la variabilidad climática tienen relación con procesos de los océanos Pacífico y Atlántico (Magaña et al. 2003, Méndez & Magaña 2010).

Los modelos regionales para México muestran que la temperatura media superficial anual puede experimentar incrementos que oscilan entre 0.5 a 5 °C según el escenario y el periodo seleccionados, mientras que los porcentajes de cambio en las precipitaciones de -20.3% a 13.5% según escenario y periodo de análisis. Se estima que es poco probable limitar los GEI y el forzamiento radiativo a los escenarios SSP1-1.9, SSP1-2.6, por otro lado, se espera que las acciones que se realizan para mitigar las emisiones de GEI permitan que no se alcance el peor de los escenarios (SSP5-8.5), por lo que se estima que los dos escenarios más probables son el escenario intermedio SSP2-4.5 y el escenario alto SSP3-7.0. Para las anomalías de temperatura, precipitación y porcentaje de lluvias se tomará como referencia el periodo 1991-2020.



Para el escenario SSP2-4.5, las anomalías de temperatura media anual para México en el periodo 2020-2039 se estima en 0.83 ± 0.06 °C, para 2040-2059 de 1.46 ± 0.06 °C, el periodo 2060-2069 de 1.96 ± 0.09 °C y para el 2080-2099 alcanzará valor de 2.35 ± 0.12 °C con respecto al periodo de referencia 1991-2020 (Tabla 2 y Figura 9). Los valores son diferenciados de acuerdo a la región, estado y municipio. En el escenario SSP3-7.0 la anomalía de temperatura media anual (°C) en el periodo 2020-2039 se estima en 0.75 ± 0.04 °C, el periodo 2040-2059 de 1.59 ± 0.06 °C, y para 2060-2069 de 2.49 ± 0.11 °C y en 2080-2099 alcanzará 3.49 ± 0.14 °C (Tabla 2 y Figura 10).

Las proyecciones regionales de precipitación tienden a producir cambios negativos y positivos dependiendo del periodo analizado y/o de la región del país. Los cambios más importantes serán en la zona Norte, Centro y Sur de México. Sin embargo, la mayoría de los cambios son disminución de precipitación en casi todo el país. Para el escenario SSP2-4.5, las anomalías de precipitación media anual en 2020-2039 es de 0.12 ± 3.71 , para 2040-2059 de -0.93 ± 4.45 , en 2060-2069 de -2.12 ± 5.00 y para 2080-2099 de -3.40 ± 6.31 (Tabla 2 y Figura 11). En el escenario SSP3-7.0 las anomalías de precipitación media anual para 2020-2039 se estima en -0.97 ± 2.13 , en 2040-2059 de -3.51 ± 4.64 , para 2060-2069 de -5.92 ± 8.35 y en 2080-2099 de -7.77 ± 11.18 (Tabla 2 y Figura 12). Los % de cambio de precipitación para el escenario SSP2-4.5 en 2020-2039 es de -0.98 ± 4.48 %, en 2040-2059 de -3.10 ± 6.71 %, para 2060-2069 de -5.1 ± 6.49 % y en 2080-2099 de -5.81 ± 7.59 % (Tabla 2 y Figura 13). En el escenario SSP3-7.0 los % de cambio de precipitación media anual en 2020-2039 serán de -1.46 ± 3.60 %, en 2040-2059 de -4.94 ± 6.15 %, para 2060-2069 de -8.78 ± 8.94 y en 2080-2099 de -10.59 ± 12.66 % (Tabla 2 y Figura 14).

Anomalías de temperatura en °C				
	2020-2039	2040-2059	2060-2079	2080-2089
SSP1-1.9	0.68±0.09	0.81±0.08	0.70±0.1	0.61±0.10
SSP1-2.6	0.82±0.06	1.19±0.07	1.32±0.06	1.25±0.09
SSP2-4.5	0.83±0.06	1.46±0.06	1.96±0.09	2.35±0.12
SSP3-7.0	0.75±0.04	1.59±0.06	2.49±0.11	3.49±0.14
SSP5-8.5	0.94±0.04	1.93±0.05	3.14±0.08	4.54±0.15
Anomalías de precipitación en mm				
SSP1-1.9	1.57±5.41	2.58±5.83	2.27±5.98	1.58±5.28
SSP1-2.6	1.12±3.39	0.28±3.75	-0.65±3.38	0.08±3.75
SSP2-4.5	0.12±3.71	-0.93±4.45	-2.12±5.00	-3.40±6.31
SSP3-7.0	-0.97±2.13	-3.51±4.64	-5.92±8.35	-7.77±11.18
SSP5-8.5	-1.78±2.56	-3.32±5.82	-5.63±8.49	-9.38±14.07
Cambios en los % precipitación en mm				
SSP1-1.9	-2.60±5.84	-1.64±5.57	-1.36±4.94	-2.90±3.84
SSP1-2.6	0.42±3.45	-0.21±3.62	-1.27±4.38	-0.35±4.54
SSP2-4.5	-0.98±4.48	-3.10±6.71	-5.1±6.49	-5.81±7.59
SSP3-7.0	-1.46±3.60	-4.94±6.15	-8.78±8.94	-10.59±12.66
SSP5-8.5	-1.65±4.76	-4.28±7.57	-7.63±11.18	-12.80±16.15

Tabla 2. Anomalías de temperatura, precipitación y % de cambio de precipitación para México de acuerdo a los modelos regionales de los escenarios del IPCC (2014) SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 durante el presente siglo (Elaboración propia, datos de CCKP, 2022).

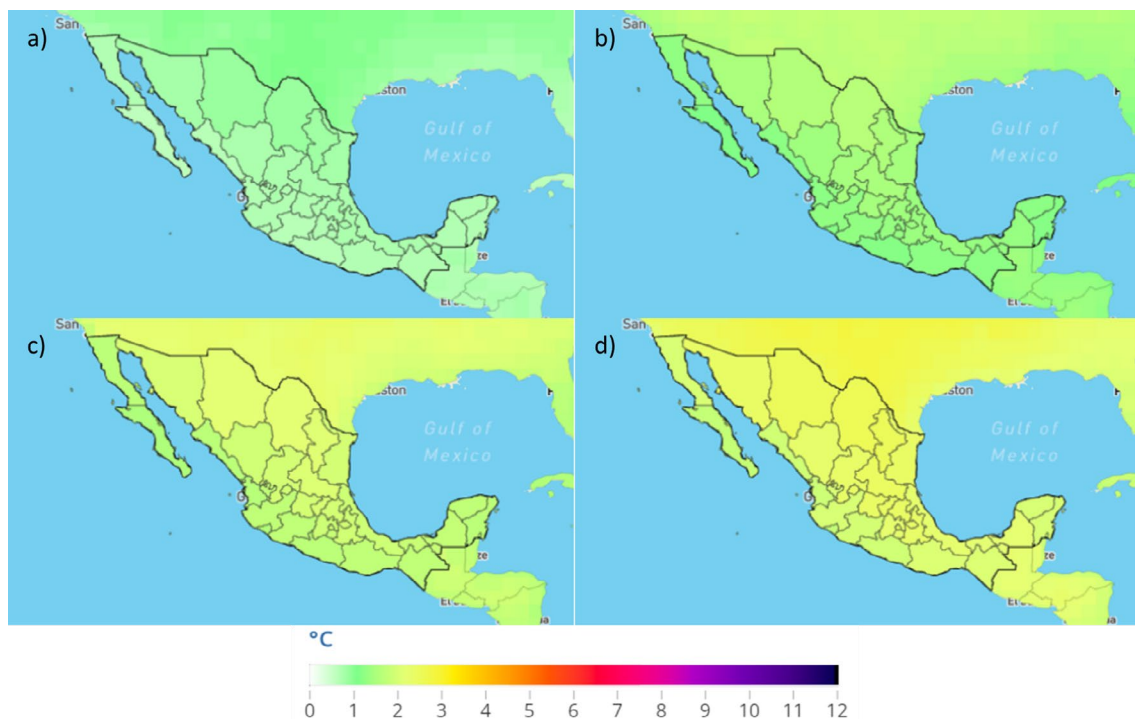


Figura 9. Anomalía de la Temperatura Media (Anual) proyectada para México bajo el escenario SSP2-4.5 a) 2020-2039; b) 2040-2059; c) 2060-2079 y d) 2080-2099 (CCKP, 2022).

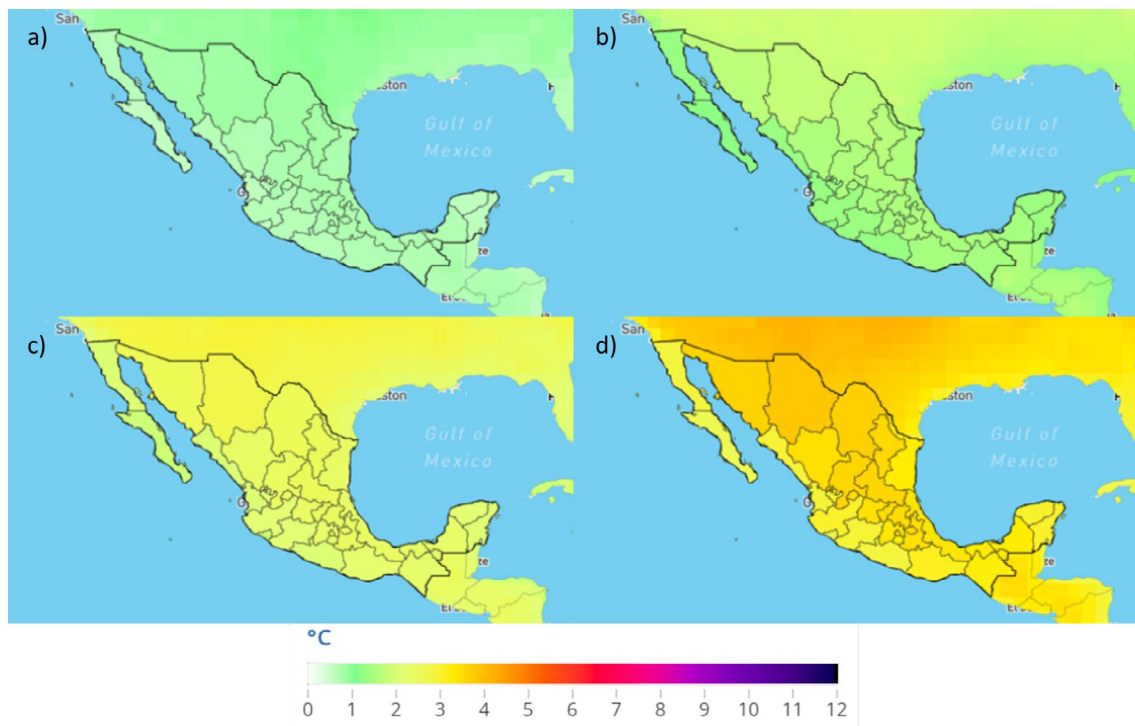


Figura 10. Anomalía de la Temperatura Media (Anual) proyectada para México bajo el escenario SSP3-7.0 a) 2020-2039; b) 2040-2059; c) 2060-2079 y d) 2080-2099 (CCKP, 2022).

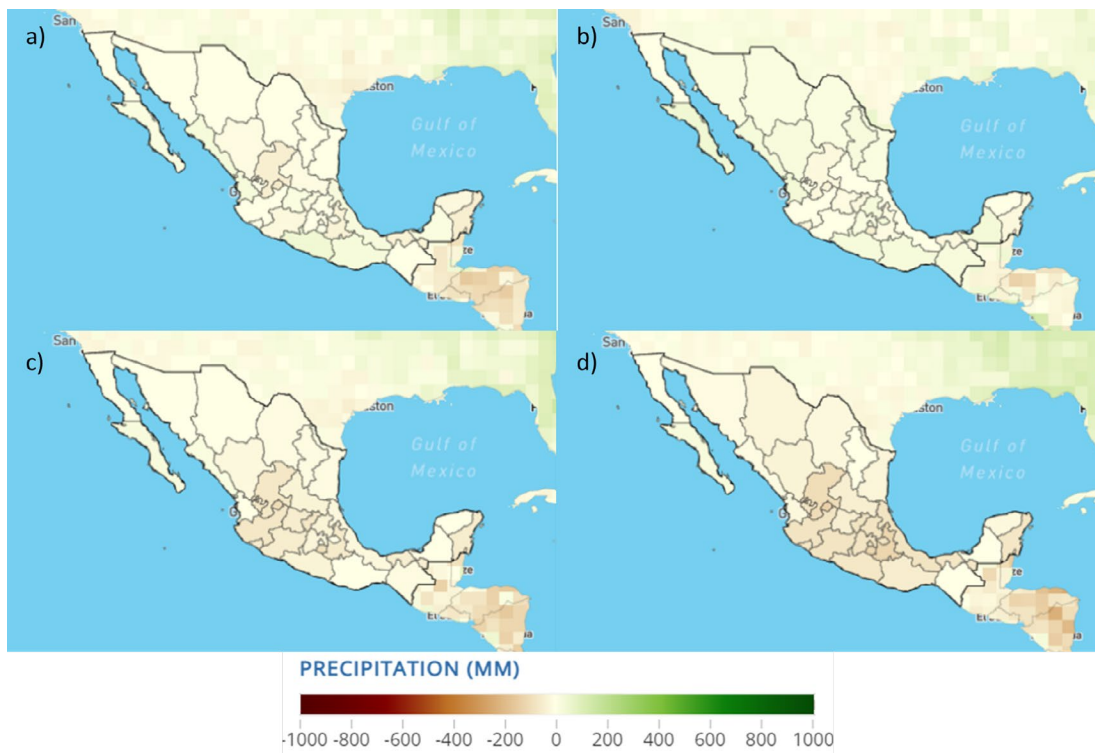


Figura 11. Anomalía de Precipitación Proyectada (Anual) para México bajo el escenario SSP2-4.5 a) 2020-2039; b) 2040-2059; c) 2060-2079 y d) 2080-2099 (CCKP, 2022).

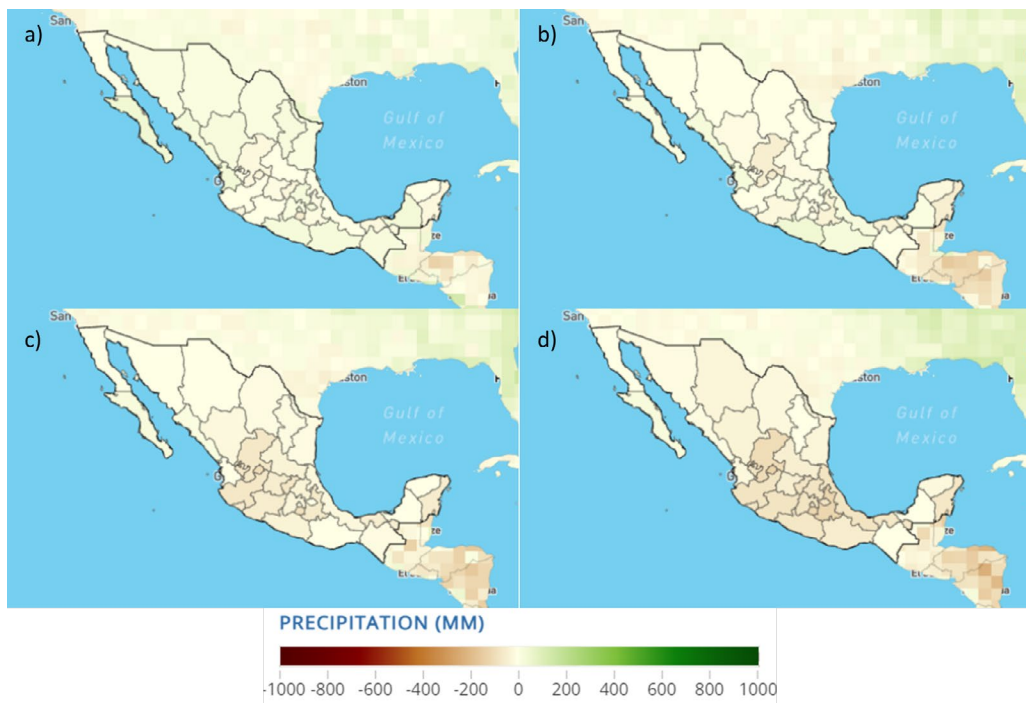


Figura 12. Anomalía de Precipitación Proyectada (Anual) para México bajo el escenario SSP3-7.0 a) 2020-2039; b) 2040-2059; c) 2060-2079 y d) 2080-2099 (CCKP, 2022).

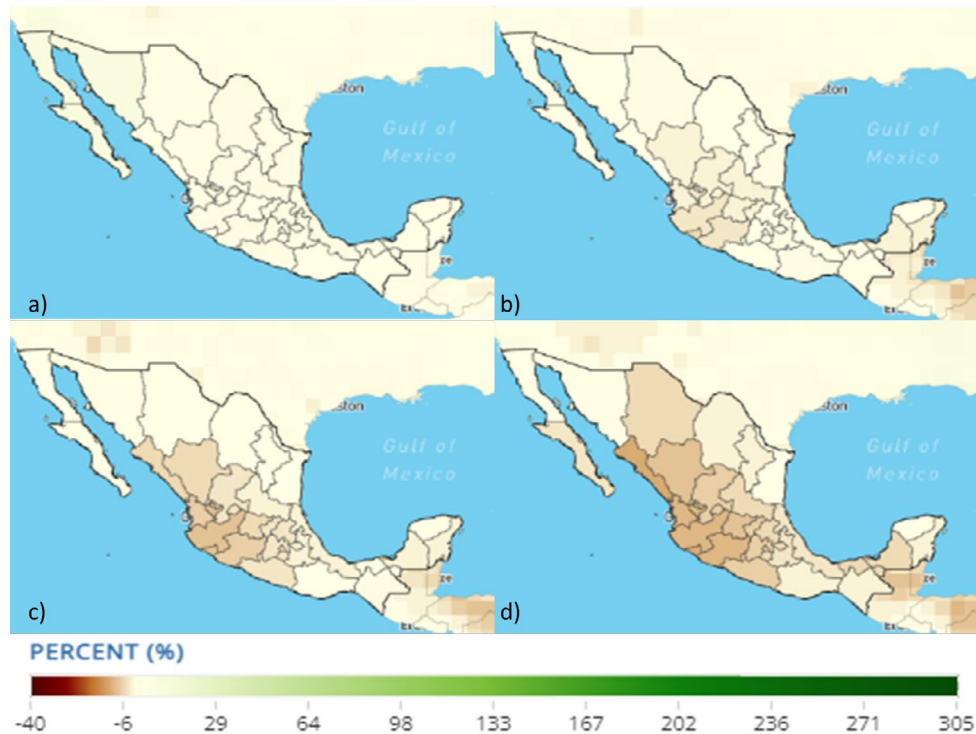


Figura 13. Anomalía de Cambio Porcentual de Precipitación Proyectada para México bajo el escenario SSP2-4.5 a) 2020-2039; b) 2040-2059; c) 2060-2079 y d) 2080-2099 (CCKP, 2022).

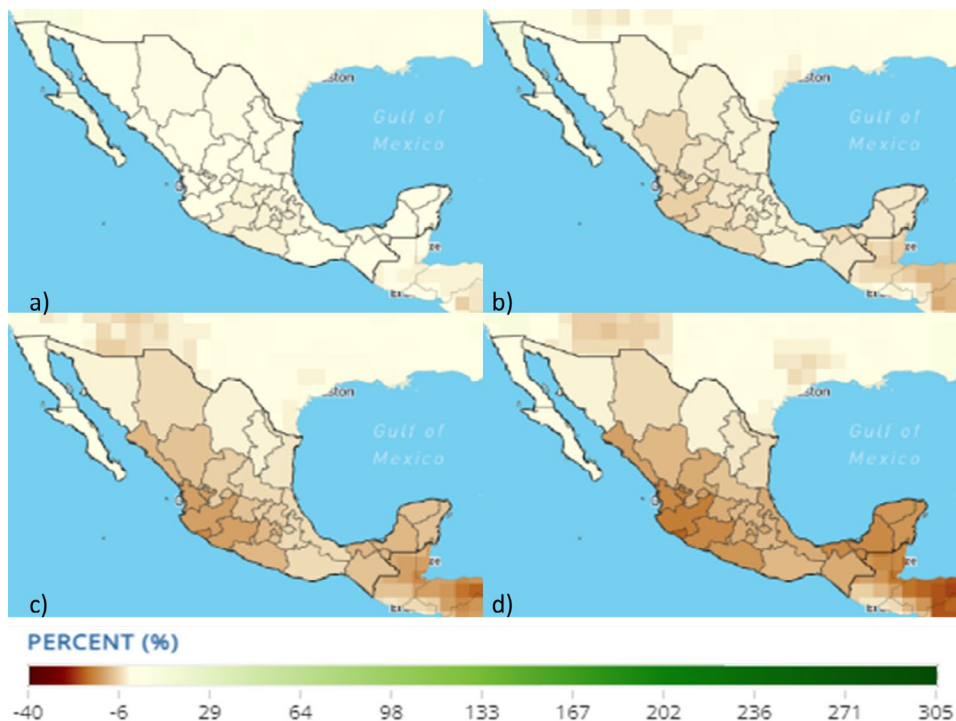


Figura 14. Anomalía de Cambio Porcentual de Precipitación Proyectada para México bajo el escenario SSP3-7.0 a) 2020-2039; b) 2040-2059; c) 2060-2079 y d) 2080-2099 (CCKP, 2022).

México se sitúa es una de las regiones del mundo donde es más probable que las precipitaciones disminuyan bajo el cambio climático (IPCC 2007). La reducción de las precipitaciones junto con aumentos en la temperatura implica aumento en la evapotranspiración potencial y una reducción sustancial en la disponibilidad de agua y humedad del suelo, afectando la agricultura de temporal y riego de México y con ello la productividad agrícola que podría poner en riesgo la seguridad alimentaria, la ganadería y los demás sectores económicos. Así, de manera general se espera para finales de siglo la magnitud esperada de los cambios negativos en las precipitaciones sea entre -5 y -10%.

La evolución temporal de las proyecciones indica que es más probable que las disminuciones en las precipitaciones sean importantes durante la segunda mitad del siglo XXI, mostrando una clara tendencia negativa en cualquiera de los escenarios del CIMP6. Si a esto le adicionamos las observaciones de la humedad del suelo (mm), Índice de Precipitación Estándar de 12 meses SPEI12 Log (ERAS LAND), índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y eventos de sequías (Figura 15) nos da un panorama más robusto de como la temperatura y los cambios de precipitación afectaran los recursos de México. Así, el mapa de humedad del suelo (mm) nos permite evidenciar que las zonas Norte, Occidente y Bajío presentan los valores más bajos de humedad del suelo con valores inferiores a 0.1, lo que se verá recrudescido con temperaturas superiores que provocaran mayor evaporación y con menor cantidad de precipitaciones, no permitirá que el suelo recupere su humedad. Las zonas Sur, Golfo y Sureste aunque presentan mayor nivel de humedad del suelo (entre 0.2 y 0.4 mm), también serán afectadas como resultado del cambio climático (Figura 15 a). El SPEI es una versión normalizada de las anomalías de precipitación y se ha utilizado para caracterizar la gravedad de la sequía meteorológica (Méndez & Magaña 2010). El SPEI 12 permite evidenciar los efectos de las anomalías persistentes de la precipitación y estimar la tendencia potencial a más sequías meteorológicas. El mapa de SPEI 12 muestran sequía prolongada, con más intensidad en la zona Norte (Figura 15 b). La magnitud de SPEI 12 durante el siglo XX osciló entre

-1 a -2 cuando ocurrieron sequías prolongadas, lo que corresponde a la categoría de condiciones extremadamente secas. Las proyecciones de precipitación del conjunto multimodelo a escala regional para 2000–2099 no tienen la magnitud de la variabilidad natural observada. Sin embargo, se observa una tendencia más definida hacia valores negativos de SPEI12 bajo el escenario SSP3-7.0 que bajo el escenario SSP2-4.5, con valores promedio de alrededor de -1. Condiciones consideradas como sequía meteorológica moderada semipermanente sobre México.

El NDVI (Figura 15 c) presenta estrecha relación con la temperatura y la humedad del suelo (Ichii et al. 2002). Así, los cambios negativos del NDVI sobre México están relacionados, con las reducciones en las precipitaciones y el incremento de temperaturas. Los patrones proyectados para la segunda mitad del siglo XXI corresponden a un severo déficit de humedad del suelo y estrés hídrico en las plantas. Los valores de NDVI se consideran vegetación escasa. Los cambios proyectados en la humedad del suelo y el NDVI en los escenarios SSP se asemejan a las anomalías observadas en condiciones de eventos ENOS intensos (1982-1983, 1986-1993, 1997-1998, 2014-2016). La mayoría de las regiones afectadas son zonas semiáridas, donde la vegetación natural es un nicho de biodiversidad muy rica. La variabilidad climática de muy baja frecuencia sobre México con anomalías de temperatura superficial de 5 °C y estrés hídrico ha dado como resultado mayor número de incendios forestales, sin considerar el efecto del cambio climático. Si a estas condiciones se le anexan las anomalías positivas de temperatura y las negativas en las precipitaciones esto agudizará la presencia cada vez en aumento de los incendios en bosques y selvas de México, situación que podría prolongarse hasta finales del siglo.



Los escenarios regionales de cambio climático sugieren que, para fines del siglo XXI, la disponibilidad de agua en el norte de México puede reducirse hasta en un 30% por calentamiento global, debido a las posibles reducciones en las precipitaciones y aumento de la temperatura. Históricamente, las sequías han tenido graves consecuencias en las actividades primarias como la agricultura, la ganadería, la silvicultura y el medio ambiente. Las temperaturas anómalas altas en el norte de México persistieron durante los veranos de 1998-2002 (alrededor de +2 °C) con precipitaciones por debajo de lo normal (-20 a -30%), lo que llevó a una sequía prolongada. Tales anomalías climáticas resultaron en un severo déficit de humedad del suelo y estrés hídrico en cultivos y vegetación que aumentó el potencial de incendios forestales. La primavera de 1998 resultó ser la temporada con mayor número de incendios forestales en México en las últimas décadas, no sólo por el estrés hidrológico en la vegetación, sino también por prácticas de tala y quema en el sector agrícola (Magaña 1999). En el norte de México la vulnerabilidad no ha reducido (Liverman 2001) y el riesgo de un gran desastre ambiental sigue presente (Wilder et al. 2010) y se complicará por efectos de cambio climático (altas temperaturas y baja precipitación).

El mapa de sequías (Figura 15 d) muestra que prácticamente todo el país sufre de sequías de moderadas (Centro y Sur) a extremadamente fuertes (Norte). Bajo los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP3-7.0 con condiciones de incremento de temperaturas y disminución de precipitaciones. El panorama de sequías en México se prolongará y agudizará de aquí a final del presente siglo, con las implicaciones sociales, económicas, políticas y culturales asociadas.

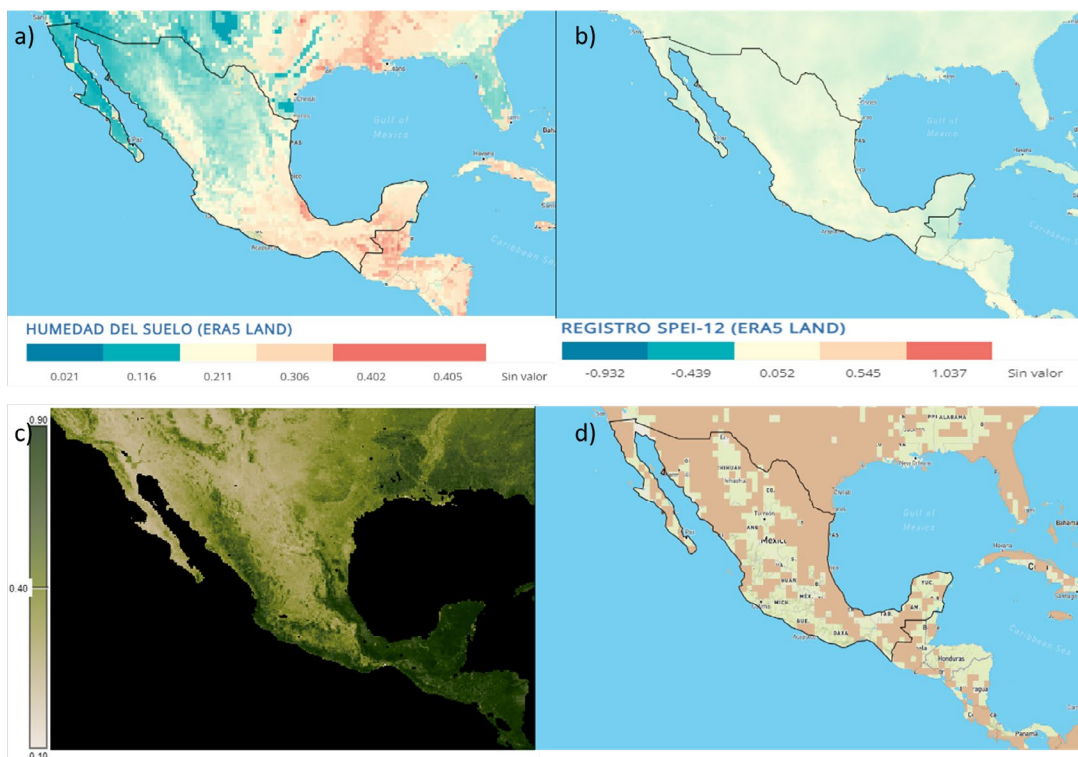


Figura 15. (a) Humedad del suelo (mm) y (b) SPEI 12 Log (ERAS LAND), c) cambios en el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y d) Eventos de sequía en el escenario SSP2-4.5 para la segunda mitad del siglo XXI (CCPK y NASA 2022).

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR HÍDRICO EN MÉXICO

A escala global se prevé que los efectos del cambio climático serán extensos, de diferente signo y magnitud entre regiones, conforme a la latitud, altitud, biomas, orografía, hidrografía entre otras.

Según el VI Informe del IPCC la temperatura de la superficie global en las dos primeras décadas del siglo XXI (2001-2020) fue de 0,99 [0.84 a 1.10] °C superior a 1850-1900. Y de 1.09 [0.95 a 1.20] °C más alta en 2011-2020 que 1850-1900, con aumentos mayores en los continentes (1.59 [1.34 a 1.83] °C) que en los océanos (0.88 [0.68 a 1.01] °C) (IPCC AR6:A.1.3, 2021). En el caso de México se evidenció un incremento de la temperatura superficial de aproximadamente 1.8 °C para el año 2020 con respecto a 1900, estando por encima de los valores globales. Los modelos regionales de CIMP6 muestran que en la mayor parte del territorio mexicano las olas de calor son más frecuentes e intensas, mientras que los eventos de frío extremo han disminuido en frecuencia e intensidad. Esto ha provocado veranos muy cálidos e inviernos menos crudos. Los escenarios regionales proyectados para México muestran que la temperatura superficial seguirá incrementándose del 2020 al 2099 en todos los escenarios de emisiones de GEI considerados y rebasando el umbral de los 2 °C de incremento. Las proyecciones en el periodo 2081-2099 muestran para el escenario intermedio SSP2-4.5, un incremento de 1.78 a 2.58 °C y para el alto SSP3-7.0 alcanzará 2.75 a 3.84 °C. En el primer caso por debajo de lo proyectado de manera global por el IPCC y en el segundo caso por encima con respecto al periodo de 1991-2020.

De acuerdo al IPCC el calentamiento global de 2 °C, en relación con 1850-1900, se superaría durante el siglo XXI en los escenarios GEI SSP3-7.0 y SSP5-8.5, respectivamente. Siendo muy probable que se cruce el umbral de 2 °C en el periodo de mitad de siglo (IPCC AR6:B.1.2, 2021). En las proyecciones regionales para México ese umbral en el periodo 2040-2059 lo superarían todos los escenarios a excepción del SSP1-1.9. lo que concuerda con los escenarios globales. Se estima que, con el incremento adicional de temperatura global, los cambios en los extremos continúan haciéndose más grandes, con mayor intensidad y frecuencia de las olas de calor, precipitaciones intensas, sequías meteorológicas, agrícolas y ecológicas en algunas regiones, siendo más los aumentos que las disminuciones. Habrá ocurrencia creciente de eventos extremos nunca antes visto en el registro observacional con calentamiento global adicional de 1.5 °C (IPCC AR6:B.1.2, 2021). En México los escenarios regionales proyectados alcanzarán temperatura mayor a las globales (1.8 °C) incrementándose frecuencia e intensidad de los extremos calientes (olas de calor, precipitaciones intensas, sequías meteorológicas, agrícolas y ecológicas).

Las evaluaciones globales proyectan que algunas regiones de latitud media y semiáridas, tendrán el mayor aumento de temperatura en los días más calurosos, entre 1.5 a 2 veces la tasa de calentamiento global (IPCC AR6:B.1.2, 2021). En México, las proyecciones regionales coinciden con las globales con incremento de temperatura en los días calurosos en los rangos globales. El informe del IPCC estima que la influencia humana ha aumentado la probabilidad de eventos extremos compuestos desde los años 1950. Tal como los aumentos en la frecuencia de olas de calor y sequías concurrentes, incendios en regiones de todos los continentes e inundaciones compuestas en algunos lugares (IPCC AR6:B.1.2, 2021). Los modelos regionales para México estiman que en el presente siglo se incrementará la frecuencia de eventos extremos (olas de calor, sequías recurrentes, incendios forestales e inundaciones).

El informe del IPCC estima que los eventos de fuertes precipitaciones se intensifiquen y se vuelvan más frecuentes en la mayoría de las regiones con un calentamiento global adicional. A escala global, se proyecta que la precipitación diaria extrema se intensifique en 7% por cada °C de calentamiento global. Se prevé que la proporción de ciclones tropicales intensos (categoría 4-5) y sus velocidades máximas de viento incrementen con el aumento del calentamiento global (IPCC AR6:B.1.2, 2021).

Para México los incrementos en las precipitaciones solo se estiman para el periodo 2020-2039 y en escenarios bajos. En el resto de escenarios la tendencia será de disminución de la precipitación, sin embargo, la intensidad de las lluvias se incrementará.

Se prevé que el calentamiento global intensifique el ciclo mundial del agua, incluida su variabilidad, precipitaciones monzónicas y la gravedad de fenómenos húmedos y secos (IPCC AR6:B.1.2, 2021). En México el periodo 2020-2039 presentará incremento de precipitación, y de 2040 a 2099 presentará disminución de eventos húmedos e incremento de secos.

El IPCC reporta que el ciclo global del agua continuará intensificándose a medida que las temperaturas globales aumenten y se prevé que las precipitaciones y los flujos de agua superficial se vuelvan más variables en la mayor parte de las regiones del mundo entre estaciones y años. En los continentes se prevé que la precipitación promedio global anual aumente entre 0 y 5 % en el escenario SSP1-1.9, de 1.5 a 8 % en el escenario SSP2-4.5 y de 1 a 13 % en el escenario SSP5-8.5 para 2081–2100. Los incrementos se estiman en latitudes altas, zona ecuatorial Pacífico y regiones monzónicas, pero disminuyen en los subtropicos y áreas limitadas de los trópicos en los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (IPCC AR6:B.1.2, 2021). En las proyecciones regionales para México se cumplen las previsiones globales de las áreas tropicales con disminución de las precipitaciones en los escenarios SSP2-4.5 (-5.81 ± 7.59 %), SSP3-7.0 (-10.59 ± 12.66 %) y SSP5-8.5 (-12.80 ± 16.15 %) en el periodo 2080-2099.

Para el IPCC el clima más cálido intensificará el tiempo muy húmedo y muy seco, con inundaciones o sequías, la ubicación y frecuencia de estos eventos dependerán de los cambios en la circulación atmosférica regional, incluidos los monzones y trayectorias de tormentas en latitudes medias. Se espera que la variabilidad de las precipitaciones relacionadas con ENOS se amplifiquen en la segunda mitad del siglo en los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (IPCC AR6:B.1.2, 2021).



Las proyecciones regionales de la disminución de humedad de suelo, el índice SPEI 12, NVDI y los grandes periodos de sequías de las últimas décadas confirman para México las estimaciones globales de intensificación de tiempo muy seco y sequías prolongadas.

Se proyecta que la temporada de monzones tendrá un inicio tardío en América del Norte (IPCC AR6:B.1.2, 2021). Las proyecciones regionales estiman que el monzón de Norteamérica cada vez se retrase conforme avance el siglo y junto con la disminución de precipitación provoque grandes problemas de almacenamiento en los cuerpos de agua del norte del país. Se estima que a 2 °C o más de calentamiento global, el nivel de confianza y la magnitud del cambio en las sequías y las precipitaciones intensas y medias aumentan. Así se proyectan en América Central, del Norte y el Caribe aumento de las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas (IPCC AR6:B.1.2, 2021). Lo cual ya se ha manifestado en México durante las dos primeras décadas del presente siglo y se proyecta que continúa intensificándose de aquí hasta finales de siglo.

El IPCC proyecta que muchas regiones experimenten un aumento de eventos compuestos como las olas de calor y las sequías concurrentes más frecuentes, incluso en áreas productoras de cultivos, se vuelven más frecuentes a 2° que a 1.5 °C (IPCC AR6:B.1.2, 2021). Las estimaciones para finales de siglo en México bajo los escenarios más probables estarán por encima de los 2 °C lo que podría significar afectaciones en los cultivos por eventos compuestos.

En general, en latitudes medias y zonas subtropicales (ubicación de México y Jalisco), se prevén importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasionará un incremento en las condiciones de escasez y mayor presión sobre los recursos hídricos diversificado en las diferentes regiones y como consecuencia graves problemas en los sectores económicos.

En diversas regiones de México, se registran condiciones de escasez que se espera se vean incrementadas, aún sin cambio climático, por crecimiento demográfico, creciente concentración urbana, contaminación de cuerpos de agua y sobreexplotación de recursos. A este escenario se añaden los efectos del cambio climático que, en México, serán de reducción de disponibilidad de agua consecuencia del incremento de temperatura y disminución de precipitaciones, lo que en conjunto plantea retos muy grandes para la gestión y uso sustentable de los recursos en México.

De acuerdo al IPCC (2007), en muchas regiones las prácticas de gestión de recursos no son adecuadas o suficientes para enfrentar los retos asociados al cambio climático. México está dentro de esos países en los que las políticas públicas de gestión de recursos implementadas hasta el momento no son, ni serán suficientes para enfrentar los impactos del cambio climático.

Por otra parte, un clima más cálido supondrá eventos de precipitación más intensa, aun en lugares donde la precipitación promedio anual será probablemente menor. Lo que ya está ocurriendo y continuara sucediendo en Sur y Sureste de México. En efecto, el promedio anual de precipitación puede incluso disminuir, pero se registrarán lluvias más intensas, lo que hará más difícil el control de estos caudales por los actuales cauces. Es de esperar que los impactos del calentamiento global en el escurrimiento se detecten primero en la ocurrencia de estos eventos extremos que, en la disponibilidad anual, que de por sí tiene importantes variaciones naturales.

En el caso de México, este efecto del cambio climático incrementará la vulnerabilidad en cuencas del Sur y Sureste de México como los sistemas Grijalva-Usumacinta en Chiapas y Tabasco, Papaloapan en Veracruz por citar algunos ejemplos que ya registran problemas de inundaciones (Martínez-Austria y Patiño-Gómez 2012). La existencia de lluvias más intensas es compatible con el pronóstico de escurrimientos anuales menores. En contraparte es evidente el incremento en la ocurrencia de sequías en el norte del territorio mexicano, lo que es consistente con las predicciones de disminución de la precipitación y escurrimiento y se espera que ocurrirán más frecuente e intensamente. De no adoptarse medidas importantes de adaptación, podría estar en riesgo mayúsculo la disponibilidad de los recursos naturales en cantidad y calidad y como consecuencia la seguridad, salud y desarrollo de la población de México.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR SALUD EN MÉXICO

El sexto informe del IPCC (2021) menciona que el cambio climático ha afectado negativamente la salud física y mental de las personas en todo el mundo y en las regiones evaluadas. Los impactos en la salud están mediados por los sistemas naturales y humanos, incluidas las condiciones económicas y sociales. En todas las regiones, los fenómenos de calor extremo han provocado mortalidad y morbilidad humanas. La incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos y el agua relacionada con el clima ha aumentado. La incidencia de enfermedades transmitidas por vectores ha aumentado debido a la expansión del área de distribución y/o al aumento de la reproducción de los vectores de enfermedades. Las enfermedades animales y humanas, incluidas las zoonosis, están surgiendo en nuevas áreas. Los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua y alimentos han aumentado regionalmente debido a patógenos acuáticos sensibles al clima y de sustancias tóxicas de cianobacterias nocivas de agua dulce. Aunque las enfermedades diarreicas han disminuido a nivel mundial, las temperaturas más altas, el aumento de lluvias y las inundaciones han aumentado las enfermedades diarreicas, incluido el cólera y otras infecciones gastro-intestinales. Asimismo, algunos problemas de salud mental están asociados al aumento de temperaturas, el trauma por fenómenos climáticos extremos y pérdida de medios de vida y cultura. El aumento de la exposición al humo de incendios forestales, polvo atmosférico y aero-alérgenos se han asociado con dificultad cardiovascular y respiratoria sensible al clima. Los servicios de salud se han interrumpido por eventos de inundaciones (IPCC, 2021).



La medición de los efectos sanitarios del cambio climático sólo puede realizarse de manera aproximada. No obstante, la OMS, concluyó que el discreto calentamiento registrado desde los años setenta estaba causando ya un exceso de mortalidad de alrededor de 140 000 defunciones anuales en el 2004 y de 5 millones de años de vida ajustados por discapacidad. La OMS ha hecho algunas proyecciones a futuro de los efectos del cambio climático en la salud: Se prevé que, entre 2030 y 2050, el cambio climático causará unas 250 000 muertes adicionales por año debido a malnutrición, paludismo, diarrea y estrés calórico. Se estima que el costo de los daños directos a la salud será de entre US\$ 2000 y US\$ 4000 millones al año de aquí a 2030 (OMS, 2010).

Se estima que los impactos del cambio climático en el sector Salud en México, serán debidos a la influencia de las temperaturas extremas que contribuyen en las defunciones por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, el aumento de incidencia de enfermedades transmitidas por vectores; contaminación del aire por los aerosoles y alérgenos, que pueden aumentar los casos en enfermedades respiratorias; la reducción de los recursos hídricos, que ponen en riesgo la disponibilidad de agua potable y eficiencia de los sistemas de drenaje; el aumento de incidencia de diarreas y enfermedades gastrointestinales; el deterioro de la calidad y cantidad de alimentos, desnutrición, intoxicaciones, adelgazamiento de la capa de ozono y aumento de cáncer de piel y problemas dermatológicos, las migraciones masivas a causa del cambio climático, el riesgo a fenómenos meteorológicos extremos, que incrementaran el número de enfermedades, lesionados y fallecidos entre otros, generaran el colapso de los sistemas de salud.

La COFEPRIS (2017) menciona que en México los riesgos sanitarios derivados de los efectos del cambio climático ya manifestados y que pudieran agudizarse de aquí al futuro son:

	Efectos del Cambio Climático	Riesgos Sanitarios Derivados
Eventos extremos	Aumento en la frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la mortalidad cardiovascular y respiratoria ligada al calor en personas mayores, enfermas y debilitadas.
	Posibilidad de picos de frío significativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la mortalidad cardiovascular y respiratoria ligada al frío en personas mayores, enfermas y debilitadas, niños y jóvenes.
	Sequías más frecuentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de enfermedades de transmisión hídrica. • Incremento de enfermedades y brotes alimentarios. • Mayor riesgo de incendios forestales (problemas respiratorios y cardiovasculares). • Problemas de productividad agrícola: aumento de precios o insuficiencia de alimentos en extremos. • Impacto en la salud mental.
	Tendencia a aumentar los episodios torrenciales y las consiguientes inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos directos: ahogamientos, lesiones, diarreas, enfermedades transmitidas por vectores, infecciones respiratorias, piel y ojos, problemas de salud mental. • Daños en los sistemas de abastecimiento (calidad del agua de consumo) y saneamiento de agua, en cultivos, viviendas, alteración en las condiciones de vida y de movilidad de la población. • Daños en los equipamientos y dotaciones del sistema sanitario asistencial.
Agua y Alimentos	Contaminación del agua de abastecimiento y de la empleada con fines recreativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de enfermedades y brotes estacionales de transmisión hídrica. • Aumento de la exposición a contaminantes biológicos y químicos.
	Reducción de las aportaciones hídricas netas y aumento de la demanda.	
	Impacto en la distribución, estacionalidad y transmisión de enfermedades por alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de enfermedades de origen alimentario.
	Incremento en el transporte y diseminación de agentes patógenos humanos desde áreas continentales hacia las áreas costeras y estuarios (por tormentas e inundaciones).	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de productos marinos por toxinas y patógenos marinos y por contaminación humana o animal. • Intoxicaciones relacionadas con la conservación de diferentes productos marinos. •
	Cambios en las variables ambientales y oceanográficas (temp. y salinidad).	
	Afloramiento de algas tóxicas y bioacumulación en productos marinos de consumo humano.	

Vectores	Modificaciones en la capacidad vectorial.	<ul style="list-style-type: none"> • Modificaciones en la incidencia y distribución de las enfermedades de transmisión vectorial.
	Aparición de potenciales focos de cría (Postprecipitaciones extremas).	
Cont. Atm	Mayor concentración de contaminantes en el aire. Las partículas en suspensión y el ozono, son los más significativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y cardiovasculares • Aumento de la mortalidad
Polen	Incremento en la producción de polen y esporas de hongos.	<ul style="list-style-type: none"> • Exacerbación de enfermedades alérgicas respiratorias como rinitis alérgica y asma.
	Estaciones polínicas más largas.	
	Cambios en la distribución geográfica de especies productoras de polen alergénico.	
Rad. UV	Aumento en la exposición a radiación UV.	<ul style="list-style-type: none"> • Cánceres y enfermedades de la piel, cataratas, daños oculares. • Efectos inmunológicos.

La salud en México cuenta con menos recursos que otros países de la OCDE. En el 2020, México destino 6.2% del PIB a la salud que equivale a \$1230 dólares per cápita por año (PPA), menos que el promedio de la OCDE de 8.9% equivalente a \$4000 dólares PPA. El gasto de bolsillo en México constituye 45% de los ingresos del sistema de salud y 4.0% del gasto de los hogares. Ambas cifras se encuentran entre las más altas de la OCDE (OCDE, 2024).

Al categorizar las muertes en tres grupos principales, en el 2019 la tasa de mortalidad ajustada por edad por enfermedades transmisibles fue de 52.4 por 100 000 hab. (62.4 en hombres y 43.7 en mujeres), mientras que para enfermedades no transmisibles ascendió a 468.7 por 100 000 hab. (544.7 en hombres y 404.6 en mujeres). Por su parte, la tasa por causas externas fue de 58.8 por 100 000 hab. (99.3 en hombres y 21.3 en mujeres), en cuyo caso destacan los accidentes de transporte terrestre (12.9 por 100 000 hab.), los homicidios (25.3 por 100 000 hab.) y los suicidios (5.3 por 100 000 hab.). En el 2000, la distribución porcentual de las causas fue 70.2% para enfermedades no transmisibles, 17.9% para transmisibles y 11.9% para causas externas, en tanto que para el 2019 los porcentajes fueron de 80.4%, 9.1%, y 10.5%, respectivamente.

En cuanto al incremento de defunciones ha sido constante entre 1998 y 2019 (de 400 000 a 700 000 defunciones), y se incrementaron de manera drástica en el 2019 y 2020 (en solo dos años paso de 700 000 a 1 150 000) por la aparición de la pandemia de COVID-19 (OCDE, 2024).

La mortalidad por cáncer en el 2019 para la población masculina presentó tasa de mortalidad por cáncer de próstata de 14.1 por 100 000; de pulmón de 8.5 por 100 000; y de colon y recto de 6.6 por 100 000. En el caso de las mujeres, las tasas fueron de 11.2 por 100 000 para cáncer de mama; 4.3 por 100 000 de pulmón y 4.9 por 100 000 de colon y recto (OPS, 2023).

En el caso de enfermedades producidas por zoonosis, durante el 2020, en México hubo un total de 1 510 795 casos de COVID-19, lo que representa 11 928.8 por millón de hab. En el 2021 los casos identificados ascendieron a 2 536 807, lo que equivale a 20 016.5 por millón de hab. Las muertes causadas de forma directa por COVID-19, en el 2020 fueron de 199 429 muertes de personas con diagnóstico de COVID-19, es decir, 1 156 por millón de hab, mientras que en el 2021 se notificaron 238 070, lo que representa 1 846 muertes por millón de hab. En las Américas, México se ubicó en la posición 2 en cantidad de muertes por COVID-19 en el 2020, y para 2021 ocupó la posición 17, con una cifra acumulada para ambos años de 3 002 muertes por millón de hab. Según la OMS, el total de muertes en exceso en el 2020 fue de 314 596 casos, es decir, 244 por 100 000 hab. Para el 2021 se estimaron 311 327 muertes, que representan un exceso de 239 por 100 000 hab. Al 31 de diciembre del 2021, se había aplicado al menos una dosis de la vacuna contra COVID-19 a 66.5% de la población. Al 2 de julio del 2022, 61% de la población contaba con el esquema de vacunación completo. La campaña inició el 20 de diciembre del 2020 y se han utilizado 7 tipos de vacunas. En el caso de enfermedades transmitidas por vectores se tienen registros confiables del dengue que presentó 36 742 casos en 2021 (OPS, 2023).

En la figura 16 se muestran las principales causas de muerte en México en los últimos 20 años, y los primeros lugares los ocupan enfermedades asociadas a cambio climático como diabetes mellitus y tumores malignos, enfermedades del corazón, cerebrovasculares, neumonía-influenza, enfermedades pulmonares crónicas, bronquitis, asma y enfisema, enfermedades infecciosas intestinales, úlceras gástrica y duodenal, desnutrición, anemias, suicidios, entre otras.

Si actualmente la población en México es de 128 millones de mexicanos (2020), y estimando crecimiento de la población a 2050 de 25% (160 millones de mexicanos) y a 2100 del 20% (153 millones). Bajo este escenario tanto el 2050 y 2100 se tendría una población de más de 50 millones de personas mayores de 60 años con el incremento respectivo de gastos en la conservación de su salud. Estimando que en esa misma proporción crecerían los gastos de salud en México sin reducir la pobreza, ni incrementar de manera considerable el PIB total y per cápita, se necesitarían triplicar el 6.2% del PIB (2020) a la salud a más del 18% de aquí a 2100, e incrementar el gasto de \$1230 dólares per cápita por año (2020) a \$3800 dólares en 2100, lo que sería inviable para la economía. Asimismo, el gasto de bolsillo en México constituiría mínimo el 65% de los ingresos del sistema de salud y más del 50% del gasto de los hogares.

Dado que los modelos regionales para México muestran que los incrementos de temperatura que oscilaran entre 0.5 a 5 °C, y los % de cambio de precipitaciones oscilaran de -20.3% hasta 13.5% según escenario y periodo de análisis. La escasa humedad del suelo (mm), los cambios negativos de NDVI y de SPEI 12 evidencian que todo el país presentará reducciones en la precipitación e incremento de temperatura, inundación de tierras por aumento del nivel del mar, desaparición de tierras agrícolas y biodiversidad, con una gran cantidad de eventos extremos como olas de calor, precipitaciones intensas, sequías meteorológicas, agrícolas y ecológicas, disminución de eventos húmedos y mayor presencia de periodos secos, intensificando la sequía moderada a sequía prolongada, problemas de almacenamiento en los cuerpos de agua y pasar de tener sequías meteorológicas a las hidrológicas y agrícolas y mayor cantidad de incendios forestales, disminución en la productividad de alimentos, desnutrición y escenarios de mayor vulnerabilidad a la aparición y agudización de enfermedades propias del mexicano (enfermedades crónico-degenerativas, obesidad, Diabetes Mellitus, entre otras) y una mayor vulnerabilidad a las enfermedades producidas por cambio climático como estrés térmico, islas de calor, enfermedades respiratorias, enfermedades transmitidas por vectores y agua contaminada, escasez de agua y alimentos; enfermedades mentales, refugiados ambientales, entre otras.

En México todos los trastornos de salud enunciados ya están presentes y se han incrementado durante los últimos 20 años (Figura 16) tal es el caso de mortalidad y morbilidad humanas por

incremento de enfermedades por alimentos contaminados, por vectores como dengue, zika y Chikungunya; transmitidas por el agua como colera, marea roja, enfermedades mentales como ansiedad, depresión, enfermedades respiratorias, cardiovasculares y alérgicas producto de los incendios y contaminación atmosférica e interrupción y/o desaparición de los servicios de salud por eventos extremos de inundación en el sureste de México. Asimismo, fenómenos de migración, donde las comunidades indígenas dejan sus lugares de origen y migran a las grandes ciudades en busca de oportunidades, viendo comprometida su salud y pérdida de vida en fenómenos meteorológicos extremos, desnutrición y anemias por inseguridad alimentaria; malnutrición, estrés, ansiedad y depresión por pérdidas en eventos extremos o conflictos violentos. Ejemplo son las comunidades indígenas de todo México que son quien sufren esta alta vulnerabilidad y que le provoca daños a la salud propia y de las sociedades donde se desarrollan.

México ya vive estos estragos en muchas regiones; la salud de la población está comprometida por inseguridad alimentaria, desnutrición y enfermedades que de ello resultan, junto el resto de enfermedades asociadas a cambio climático. En México ya se registra incremento de Dengue, Zika, Chikungunya, Colera, problemas gastrointestinales, ansiedad, depresión y estrés; y se espera que estos incrementen de manera importante con el aumento de la temperatura, disminución de la precipitaciones y presencia recurrente de eventos meteorológicos extremos.

En el caso de México los riesgos más importantes se presentan en las costas del golfo de México y mar Caribe donde se prevén los mayores incrementos del nivel del mar, las regiones frías se verán inicialmente favorecidas, pero quizás a finales de siglo empiecen a tener problemas de salud. Problemas que ya se están dando en comunidades del Norte de México (por sequía) y en el Sureste (por inundaciones), asimismo, problemas de violencia por la disponibilidad de los recursos, incidencia de enfermedades físicas y mentales; y muertes por violencia y suicidios. En México debido a la pobreza se tienen problemas de malnutrición, que se agravaran por estos factores, lo que conducirá a serios problemas de salud, con los correspondientes gastos.

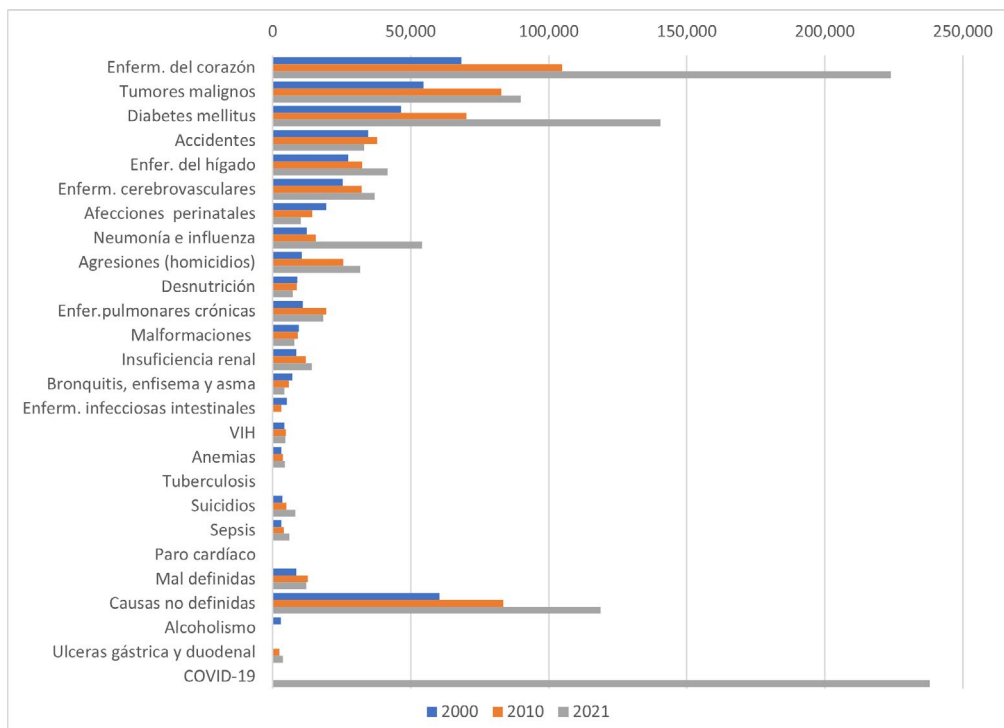


Figura 16. Principales causas de Mortalidad en México en 2000, 2010 y 2021. Elaboración propia con datos de Sistema de Información de la Secretaría de Salud.

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE MÉXICO

A lo largo del presente siglo, los efectos del cambio climático y su impacto en el sector agropecuario reducirán el crecimiento económico, afectarán la seguridad alimentaria y complicarán los esfuerzos por reducir la pobreza (Field et al., 2014). Los efectos no serán uniformes entre países ni al interior de los mismos; dependiendo de las condiciones locales y de cómo estas modifiquen el tiempo de respuesta al cambio climático y a otros fenómenos como el crecimiento económico (Mendelsohn y Dinar, 1999). En términos económicos es muy probable que los sectores agrícola y ganadero sean los más afectados por los efectos negativos del cambio climático (Fischer et al., 2005; Mendelsohn, 2009). De acuerdo al INECC, la agricultura en México puede verse afectada por la presencia de plagas, insectos y eventos meteorológicos extremos a causa del cambio climático. Se ha demostrado que el incremento de la temperatura afectará el crecimiento de algunos cultivos y desarrollo de ganado, sobre todo si aumenta el consumo de agua y la proliferación de plagas y enfermedades (CEDRSSA 2020).

Estimando que la demanda de la agricultura en México creciera al ritmo de la población (25%) sin reducir la pobreza, ni incrementar de manera considerable el PIB total y per cápita, se necesitarían 26 millones de hectáreas de cultivo en lugar de los 21 millones de hectáreas sembradas en 2020. Sin embargo, las tierras aptas para cultivo solo son de 24.6 millones, por lo se tendría un déficit de 1.5 millones de hectáreas sin considerar cambio climático.



Tomando como base los principales 10 cultivos por hectáreas sembradas en México y sus requerimientos climáticos, se elaboraron estimaciones de los posibles cambios en cada uno de ellos. En el caso del maíz grano y forrajero, se estima que la productividad podría descender entre 20 y 30 % para los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0; para las diferentes variedades de frijol cultivadas en México, se estiman descensos de la productividad entre 30 y 50 %, la productividad del sorgo disminuirá entre 5 y 10 %, para la caña de azúcar se reducirán sus rendimientos entre 20 y 30%, para el café disminuirá la productividad de 10 hasta 40%, el trigo disminuirá su productividad del 10 al 20 %, para la cebada su producción descenderá entre 5 y 15% con respecto a los actuales, la avena disminuiría su productividad entre 10 y 30%, en el caso de los pastos y praderas la productividad podría descender entre 25 y 35 % dependiendo de las variables edáficas, climáticas y de modificación súbita por cambio climático.

Promediando todos los descensos en la productividad de los 10 principales cultivos estos darían aproximadamente -22 %, lo que representaría un déficit por baja productividad de 4.84 millones de hectáreas, que si le sumamos el déficit por falta de tierra cultivable de 1.5 millones de hectáreas, darían un déficit total de 6.4 millones de hectáreas de cultivos, lo que representaría una disminución muy importante en la producción de alimentos tanto de uso humano como pecuario que pondría en riesgo la seguridad alimentaria del país.

En cuanto a la producción pecuaria, estimando que la demanda de ganado en México creciera en la misma proporción que la población (25%) sin reducir la pobreza, ni incrementos del PIB total y per cápita, se necesitarían 137.25 millones de hectáreas dedicadas a la ganadería (70.5 % del territorio nacional), lo cual es inviable.

Tomando como base las principales especies de ganado criadas en México y sus temperaturas óptimas y críticas, se elaboraron estimaciones de las posibles afectaciones en el sector agropecuario en México. Para el ganado bovino las condiciones no favorecerán su reproducción, desarrollo y madurez, con lo que se estima que la productividad de producción de leche y carne se verán reducidos. El ganado porcino disminuiría su reproducción y la producción de carne de cerdo y sus derivados. Se estima una disminución en la reproducción del ganado ovino y caprino, del número de cabezas y de producción de carne y sus derivados. En cuanto a la crianza de aves (gallinas y guajolotes) su reproducción será afectada, con la consecuente reducción del número de unidades criadas y la producción de huevo y carne de ave.

Por otro lado, las actividades pecuarias demandarán en promedio entre 11-15 % más agua para su desarrollo pasando de los actuales 1.33-3.21 Millones de m³/diarios a consumir 1.53-3.69 Millones de m³/diarios, los cuales es muy poco probable que se cuente con ellos debido a la disminución de los recursos hídricos consecuencia del cambio climático.

Se ha evidenciado que los impactos del cambio climático en las actividades agropecuarias, a través de las variaciones de temperatura, humedad relativa y precipitación que se verán intensificadas por la presencia de eventos climatológicos extremos como heladas, sequías, huracanes y lluvias extremas en las diferentes regiones geográficas de México (CEDRSSA 2020).

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD DE MÉXICO

México es considerado un país “megadiverso” (Tabla 3), ya que forma parte del selecto grupo de naciones poseedoras de la mayor diversidad de animales y plantas, casi el 70% de la diversidad mundial de especies (CONABIO,2023). México es un país rico en biodiversidad y recursos naturales; es el hogar de más de 200 000 especies de plantas y animales, muchos de los cuales no se encuentran en ningún otro lugar de la Tierra. Sin embargo, el país también enfrenta desafíos significativos cuando se trata de preservar su entorno natural frente al cambio climático.

Uno de los problemas más apremiantes es la pérdida de hábitats debido a la deforestación y el cambio de uso de suelo. Los bosques y selvas en México están siendo talados a un ritmo alarmante, principalmente debido a la expansión de la agricultura, ganadería y urbanización. Esta destrucción no solo afecta a las especies que habitan estos bosques, sino que también contribuye al cambio climático al liberar dióxido de carbono a la atmósfera.

País	Plantas vasculares	Mamíferos	Aves	Reptiles	Anfibios
Lugar de México	5	3	11*	2	5
Brasil	56,215	648*	1,712	630	779
Colombia	48,000	456	1,815	520	634
China	32,200	502	1,221	387	334
Indonesia	29,375	670*	1,604	511	300
México	21,989 - 23,424*	564*	1123-1150*	864*	376*
Venezuela	21,073	353	1,392	293	315
Ecuador	21,000	271	1,559	374	462
Perú	17,144	441	1,781	298	420
Australia	15,638	376	851	880	224
Madagascar	9,505	165	262	300	234
Congo	6,000	166	597	268	216

Tabla 3. Posición de México con respecto a otros países megadiversos (Llorente y Ocegueda, 2008).

México enfrenta un gran impacto del cambio climático en sus ecosistemas marinos. El aumento de la temperatura del océano, el aumento del nivel del mar y la acidificación de los océanos están ejerciendo presión sobre las comunidades costeras del país y la diversidad de vida marina.

Para México donde se proyectan incrementos mayores a 2 °C de aquí a finales del presente siglo en los dos escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0, por lo que es muy probable que no se puedan reducir al mínimo las amenazas y extinciones de especies. A corto plazo, los riesgos asociados al clima para los sistemas naturales y humanos dependen más de los cambios en su vulnerabilidad y exposición que de las diferencias en los peligros climáticos entre los escenarios de emisiones. Existen diferencias regionales, y los riesgos son más altos cuando las especies y las personas existen cerca de sus límites térmicos superiores y cuando persisten múltiples factores no climáticos o donde la vulnerabilidad es elevada. Muchos de estos riesgos son inevitables a corto plazo, independientemente del escenario de emisiones.

Así, en el caso de México existen factores no climáticos que aumentan la vulnerabilidad de la pérdida de biodiversidad, los cuales serán difíciles de detener y eliminar; y que junto con las consecuencias del cambio climático aumentarán de manera significativa el número de especies amenazadas y en peligro de extinción, sin tener certeza de cuantas se extinguirán de manera irremediable. En base a las probables temperaturas para finales de siglo en México (de 0.5 a 5 °C) se estima que el riesgo de extinción oscile entre 3 a 48 % en los ecosistemas terrestres, mientras que en los ecosistemas oceánicos y costeros el riesgo de pérdida de biodiversidad pasara de moderado a muy alto; y para las especies endémicas se estima que el riesgo de extinción muy alto con posibilidad de aumento en más de diez veces.

Las proyecciones de los modelos regionales se estima que los peligros de pérdida de cultivos, mortandad de especies de árboles se incrementen más allá de los mostrados por los modelos globales, asimismo las inundaciones podrían poner en riesgo algunas especies animales y vegetales en las zonas inundadas, principalmente en el Sur y Sureste del país. México es de los países que presenta un riesgo real de incremento de incendios forestales por factores climáticos y no climáticos con el riesgo de amenaza y peligro de extinción de un número importante de especies vegetales, animales, fungí y chromista que coexisten en sus diferentes biomas.

El aumento inevitable del nivel del mar traerá impactos en cascada que resultarán en pérdidas de ecosistemas costeros y servicios ecosistémicos, salinización de las aguas subterráneas, inundaciones y daños a la infraestructura costera que se convierten en riesgos para los medios de vida, los asentamientos, la salud, el bienestar, la seguridad alimentaria y del agua, y los valores culturales a corto y largo plazo (IPCC AR6: B.2.2, 2021) [4]. Eventos que ya han visto sucediendo desde hace décadas en el territorio mexicano en las selvas del Sureste, en las zonas boscosas y montañosas de todo el país y en las zonas costeras del Golfo de México y Océano Pacífico.

En México prácticas con estrategias de mala adaptación y mitigación, que en lugar de contribuir a la disminución de cambio climático han contribuido a aumentar el riesgo de amenazas a la biodiversidad en el país. Como ya se ha mencionado en el país será imposible limitar el incremento de temperatura a 1.5 °C por lo que cada decima de incremento de temperatura y reducción de precipitación, aumentará el riesgo de pérdida de biodiversidad.

De acuerdo a la Lista Roja de especies amenazadas y en peligro de extinción de la *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN, 2023), México es de los países de Mesoamérica que presenta el mayor riesgo en la pérdida de biodiversidad. Los datos muestran que México cuenta con 2437 especies amenazadas. Las plantas son el grupo mayoritario, seguido de peces, anfibios, otros invertebrados, reptiles, mamíferos pájaros y moluscos.

Descensos en la productividad agrícola representaría disminución importante en la producción de alimentos tanto de uso humano como pecuario; lo que pondría en riesgo especies de plantas que actualmente no son parte del sistema alimentario. Asimismo, la disminución de productividad pecuaria es probable que se recurra a la utilización de especies animales no tradicionales, lo que aumentaría el riesgo de amenaza, peligro de extinción y extinción de estas especies.

El cambio climático ejerce una presión cada vez mayor en la biodiversidad, los aumentos en la frecuencia, intensidad y gravedad de las sequías, inundaciones y olas de calor, y el aumento continuo del nivel del mar aumentarán los riesgos de pérdida de especies en las regiones vulnerables de moderado a alto entre 1.5-2 °C de nivel de calentamiento global, con niveles de adaptación nulos o bajos. A un nivel de calentamiento global de 2 °C o más a medio plazo, los riesgos para la biodiversidad debidos al cambio climático serán más graves. El calentamiento global debilitará la salud del suelo y la polinización, aumentará la presión de enfermedades y plagas y reducirá la biomasa de animales marinos. A un calentamiento global de 3 °C o más a largo plazo, las áreas expuestas a peligros relacionados con el clima se expandirán sustancialmente, exacerbando la disparidad regional en riesgos para la biodiversidad. México ya vive estos estragos donde en muchas regiones las especies amenazadas están comprometidas.

ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA JALISCO

La climatología del estado de Jalisco se evaluó de acuerdo a las normales climatológicas 1981-2010 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CNA) del gobierno federal. Los resultados están basados en las 208 estaciones que se encuentran distribuidas en los 125 municipios del estado. El estado presenta una diversidad de climas, ya que no están distribuidos de manera homogénea.

El estado de Jalisco, se encuentra ubicado a una latitud media de 20.58° N, y una longitud media de 103.57°W. La altitud promedio es de 1412 msnm, con temperatura promedio de 20 °C con extremos entre 14 °C y 28 °C. La temperatura mínima promedio es de 12 °C con extremos entre los 6 y 21 °C. La temperatura máxima promedio es de 29 °C con extremos entre los 21 y 37 °C (Fig. 17). La precipitación media es de 859 mm con extremos entre 426 y 2003 mm (Fig. 18), la evaporación promedio de 1766 mm entre 70 y 2752 mm. Durante el año se presentan en promedio 73 días con lluvias y extremos de 2 a 122 días. El número de días promedio al año con niebla es de 23 entre 0 y 23 días. Los días promedio con granizo es de 1 día entre 0 y 65 días. Las tormentas eléctricas se presentan en 19 días en promedio y extremos de 0 a 193 días. Finalmente, la humedad relativa promedio en el estado es de 54% con extremos entre 39 y 69%.

Esta climatología es la que se tomó como base para hacer las comparaciones de Indicadores CLIMDEX y proyecciones de modelos regionales; para estimar las variaciones con respecto a los modelos globales. En otras palabras, el cambio de escala global a regional de los parámetros climáticos y poder evaluar la vulnerabilidad a escala de estados y municipios.

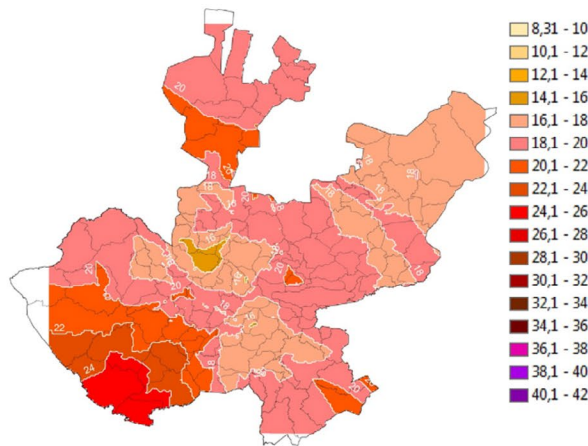


Figura 17. Temperaturas promedio del estado de Jalisco de acuerdo a las Normales Climatológicas del periodo 1981-2010.

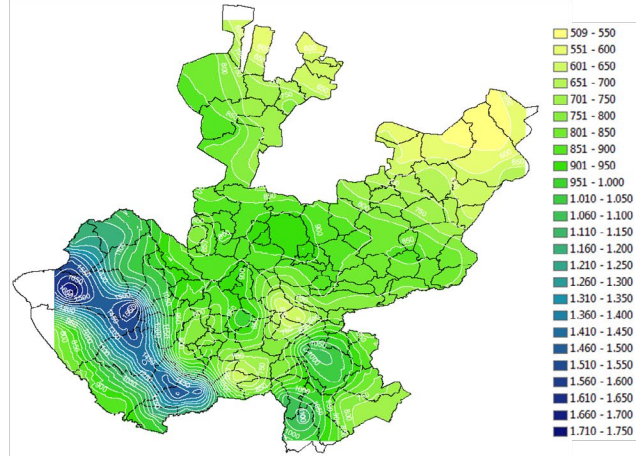


Figura 18. Precipitación promedio del estado de Jalisco de acuerdo a las Normales Climatológicas del periodo 1981-2010.

Ramírez et al (2021 a,b), calcularon 27 índices de cambio climático CLIMDEX que manifiestan los impactos de cambio climático ya presentes, utilizando 197 de las 208 estaciones distribuidas en los 125 municipios del estado de Jalisco. Los resultados para de región son los siguientes:

Región Norte: En esta región se evidenció que los cambios en los patrones de temperatura se reflejaron en el incremento de 27 días de los días con heladas y 25 días en los días de verano. Se observó un incremento de 16 días con noches tropicales y disminución en la duración de la estación de cultivo de 4.5 días, la temperatura máxima-máxima disminuye 4 °C, mientras que la máxima-mínima 8 °C, la mínima-máxima incremento 3 °C y mínima-mínima disminuyo 4 °C, el rango diurno de temperatura tiene incrementos de hasta 5.7 °C. Los incrementos de temperatura se reflejan en cambio en las condiciones de los días y noches. En los indicadores de humedad y precipitación se observan variaciones en la cantidad de precipitación presentada en uno y en cinco días de -45 a 26 mm, en la intensidad diaria de -2 a 6.5 mm/día, sin embargo en los días de precipitación intensa y muy intensa estos presentan variaciones de -8 a 10 mm, aumentó de días secos y descenso de días húmedos, variaciones positivas y negativas en los días muy húmedos y extremadamente húmedos de entre -150 hasta 300 mm y descenso de hasta 250 mm en la precipitación total de días húmedos, lo que indica que el aumento de temperatura está asociado a un descenso de humedad y precipitación en los últimos 30 años.

Región Altos: En esta región se evidencia cambios en los patrones de temperatura con descenso de días con heladas, e incremento de días de verano de hasta 85 días. Se observa un incremento de menos de un día de las noches tropicales y disminución en la duración de la estación de cultivo de 3 a 4.5 días, la temperatura máxima-máxima se incrementó 2.8 °C, mientras que la máxima-mínima 1.8 °C, la mínima-máxima disminuyo en 10 °C y la mínima-mínima se incrementan 4.8 °C, el rango diurno de temperatura tiene variaciones de -2.5 a 1.2 °C. En la humedad y precipitación se observan incrementos en la cantidad de precipitación presentada en uno y cinco días, en la intensidad diaria, sin embargo, en los días de precipitación intensa y muy intensa estos presentan descenso de hasta 7 mm, aumento de días secos y descenso de días húmedos, variaciones positivas y negativas en los días muy húmedos y extremadamente húmedos y descenso de hasta 180 mm en la precipitación total de días húmedos. Así, el aumento de temperatura está asociado al descenso de humedad y precipitación en los últimos 30 años.

Región Costa Norte: En esta región se evidencia cambios en los patrones de temperatura con descenso de los días de verano en casi 55 días, descenso de hasta 14 días de las noches tropicales y de la duración de la estación de cultivo a menos de un día, la temperatura máxima- máxima se incrementa en 0.8 °C, mientras que la máxima-mínima 0.5 °C, la mínima-máxima 0.1 °C y mínima-mínima de 1 °C lo que incrementa en 0.4 °C el rango diurno de temperatura. En la humedad y precipitación se observa descenso en la cantidad de precipitación presentada en uno y cinco días, mientras que la intensidad diaria incrementa hasta 3 mm/día, en los días de precipitación intensa y muy intensa hay incrementos de 3.5 y 2.2 mm, descenso en los días secos y días húmedos, e incremento en los días muy húmedos de 100 y 130 mm en los extremadamente húmedos y aumento de 100 mm en la precipitación total de días húmedos. Esto demuestra que esta zona está controlada por alta humedad que existe en la región, asociada a la zona selvática y boscosa que la rodea, lo que ha limitado los cambios de temperatura a moderados, con un incremento en la precipitación de una manera gradual y no de manera torrencial e intempestiva.

Región Costa Sur: En esta región evidencian cambios en los patrones de temperatura con incremento de los días de heladas a 0.2 días, sin embargo, el incremento en el número de días de verano es de 5 días. Se observa descenso de 80 días de las noches tropicales y de la duración de la estación de cultivo a menos de un día, la temperatura máxima-máxima se incrementa en 1.5 °C, mientras que la máxima-mínima desciende hasta 1.8 °C, la mínima-máxima aumenta hasta en 3 °C y la mínima-mínima desciende hasta 4 °C, el rango diurno de temperatura varia de -3 hasta 2.2 °C. La humedad y precipitación muestran incremento en la cantidad de precipitación en uno y cinco días de 40 y 80 mm respectivamente, en cuanto a la intensidad diaria esta muestra incrementos de hasta 4 mm/día, en los días de precipitación intensa y muy intensa hay incrementos de 1 y 2 mm, descenso de los días secos y días húmedos, e incremento en los días muy húmedos de 100 y de 90 mm en los

extremadamente húmedos y aumento de 150 mm en la precipitación total de días húmedos. Así, la zona está controlada por la alta humedad asociada a las zonas selváticas y boscosas que la rodean y permiten tener cambios de temperaturas moderados, con un incremento en la precipitación de manera gradual y no de manera torrencial e intempestiva durante los últimos 30 años como en la Costa Norte.

Región Ciénega: En esta región se evidenció cambios en los patrones de temperatura con incremento mínimo de los días de heladas, sin embargo, el incremento de días de verano es de casi 140 días. Se observa un descenso de menos de un día de las noches tropicales y de la duración de la estación de cultivo, la temperatura máxima-máxima se incrementó en 3 °C, mientras que la máxima-mínima, mínima-máxima y mínima-mínima tuvieron un descenso, el rango diurno de temperatura se incrementara en 4.5 °C. La humedad y precipitación muestran descenso en la cantidad de precipitación presentada en uno y cinco días, en la intensidad diaria, en los días de precipitación intensa y muy intensa; y aumento en los días secos y descenso de días húmedos, muy húmedos y extremadamente húmedos y descenso de 210 mm en la precipitación total de días húmedos. Esto indica que el aumento de temperatura está asociado a un descenso de humedad y precipitación en los últimos 30 años.

Región Sur: En esta región los cambios en los patrones de temperatura incrementan en 0.6 los días de heladas y 60 días los de verano, descenso de cinco días de noches tropicales sin cambios en la duración de la estación de cultivo, la temperatura máxima-máxima, máxima-mínima y la mínima-máxima descendieron entre 2 y 2.5 °C, mientras que la mínima-mínima tuvo incremento de 4 °C, el rango diurno de temperatura incremento 3.0 °C. La humedad y precipitación muestran incremento en la precipitación en uno y cinco días, aunque la intensidad diaria muestra descenso de 2 mm/día, asimismo, descenso en la cantidad de días de precipitación intensa y muy intensa, descenso de días secos hasta de 30 días y de menos de un día de días húmedos, incrementos de días muy húmedos y extremadamente húmedos de entre 20 y 40 días e incremento de hasta 50 mm en la precipitación total de días húmedos. Así, las precipitaciones se han vuelto de poca intensidad y más duración. Como en otras regiones los cambios de temperatura están asociados al cambio de patrones de precipitación en los últimos 30 años.

Región Centro: En esta región no se muestran cambios significativos en el número de días de heladas, sin embargo, se observa un descenso de los días de verano, incremento de dos días de las noches tropicales y la duración de la estación de cultivo no presentan cambios, la temperatura máxima-máxima desciende 3 °C, mientras que la máxima-mínima, la mínima-máxima y mínima-mínima tienen incrementos que impactan el rango diurno de temperatura con descensos de 4.0 °C. Los indicadores de humedad y precipitación muestran incremento en la precipitación presentada en uno y cinco días, en la intensidad diaria, sin embargo, se muestra un descenso en la cantidad de días de precipitación intensa y muy intensa, aumento en los días secos y descenso de días húmedos, e incrementos en los días muy húmedos y extremadamente húmedos e incremento de 300 mm en la precipitación total de días húmedos. Así, la precipitación se ha vuelto más intensa y puntual quizás debido a la influencia de la gran tasa de urbanización de la ciudad (ZMG). Sin embargo, los cambios de temperatura están asociados al cambio de los patrones de precipitación que se presentaron en la región durante los últimos 30 años.

PROYECCIONES REGIONALES DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE JALISCO

Los índices CLIMDEX evidencian los cambios que ya ocurrieron por cambio climático en los últimos 30 años en Jalisco, sin embargo, para el futuro lo más importante es mostrar cuales son los posibles escenarios de cambio climático y sus impactos en el estado de Jalisco. Así, para la obtención de modelación regional, se empleó el modelo PRECIS (Providing REgional Climates for Impact Studies), desarrollado por el *Hadley Center* del Reino Unido, en un dominio que abarca el occidente de la República Mexicana con resolución de 25 km en el periodo 2020-2099.

Los resultados muestran de manera general los impactos más importantes de la temperatura de aire y suelo; humedad de aire y suelo y velocidad de precipitación, realizando la comparación mensual durante todo el año (enero a diciembre) para identificar los rasgos más significativos de las estaciones de estiaje y de temporal en los dos escenarios proyectados SSP2-4.5 y SSP3-7.0. En base a esto se determinó que los meses más representativos del año son el mes de enero (estiaje) y julio (temporal), incluyendo el mes de diciembre como mes de transición entre las dos estaciones. Posteriormente se realiza un análisis comparativo entre estos meses; y finalmente se realiza el análisis entre los años 2030, 2050 y 2080 (Figura 19).

La temperatura del aire en los dos escenarios propuestos irá aumentando progresivamente. Para el 2080 se estiman incrementos de temperatura hasta 42 °C en las costas y de 32 °C en el resto del estado en ambos escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0. La temperatura del suelo en los dos escenarios también se incrementará progresivamente. Para el 2080 se estiman incrementos de temperatura entre 40-42 °C en las costas y de 32 °C en el resto del estado en ambos escenarios. Para las temperaturas de aire y suelo en el escenario SSP3-7.0 los incrementos serán de manera general mientras que en el SSP2-4.5 serán más fraccionados (Figura 20).



La humedad relativa (HR) mostrará disminución del 2030 al 2080 en ambos escenarios. Sin embargo, en las zonas costeras se incrementará la HR mientras que en el resto del estado disminuirán. Los incrementos de HR se presentarán en los meses de temporal y disminuirán en los del estiaje. La humedad del suelo mostrará disminución más importante que la del aire del 2030 al 2080 en ambos escenarios. La humedad del suelo al 2080 será de 40% en la región de los Altos, mientras que el resto del estado presentará valores cercanos a 0% lo que representa sequía extrema. Los valores más altos se desplazarán a meses inusuales como el mes de enero, mientras que julio típicamente más húmedo presentará valores muy bajos (Figura 20).

La velocidad de precipitación total disminuirá de manera extraordinaria entre el 2030 y 2090. En el 2030 se alcanzarán velocidades de 480 en la zona de los Altos. Sin embargo, conforme se avance al 2050 y 2080 disminuirán de manera significativa entre 10 y 120 en los meses de temporal en las zonas costeras y los Altos; y valores muy bajos en el resto del estado (Figura 20).

Las conclusiones del análisis de las proyecciones de modelos regionales para julio y enero en cada región del estado de Jalisco en los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 son las siguientes:

Región Centro: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento; para el período 2000-2090 es de 3 °C para el temporal y 3.5 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 4 °C para el temporal y 5.2 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene una tendencia de aumento moderado, con un 10% para el temporal y de 6% para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descensos de 9% para el temporal y el estiaje en el SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones se incrementa para después descender en el temporal, la tendencia es a la baja en el escenario SSP2-4.5 y descensos ligeros para el temporal y descensos altos para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta gradualmente para llegar al final del período a valores entre 3 °C para el temporal y de 3.7 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 4 °C para el temporal y 6 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0.

Región Sur: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento; para el período 2000-2090 de 3 °C para el temporal y de 3.7 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 3.8 °C para el temporal y 6 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene una tendencia de aumento moderado, llegando a ser un 5% para el temporal y descenso de 6% para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descensos de 6% para el temporal y de hasta 15% en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones incrementa para después descender en el temporal, mientras que en el estiaje la tendencia es a la baja en el escenario SSP2-4.5 y descensos ligeros en el temporal y altos en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta para llegar al 2099 a valores de 3 °C en el temporal y 3.7 °C en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 4 °C en el temporal y 6 °C en el estiaje en el escenario SSP3-7.0.



Región Altos: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento para el período 2000-2090 de 3.5 °C para el temporal y 3.4 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 5 °C para el temporal y 5.5 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene una tendencia de aumento moderado, llegando a ser un 6% para el temporal y descenso de 6% para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descensos de 5% para el temporal y de hasta 11% en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones disminuye en el temporal y en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descensos ligeros para el temporal y altos para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta gradualmente para llegar al final del período a valores entre 3.5 °C para el temporal y de 3.6 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 5 °C para el temporal y 5 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0.

Región Norte: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento para el período 2000-2090 es de 3.0 °C para el temporal y 3.8 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 5 °C para el temporal y estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene tendencia de aumento moderado del 7% en el temporal y descenso de 7% en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descensos de 3% en el temporal y de 10% en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones disminuye en el temporal y estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descensos ligeros en el temporal y altos para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta para llegar al final del período a 3 °C en el temporal y 4 °C en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 4.5 °C en el temporal y 5 °C en el estiaje en el escenario SSP3-7.0.

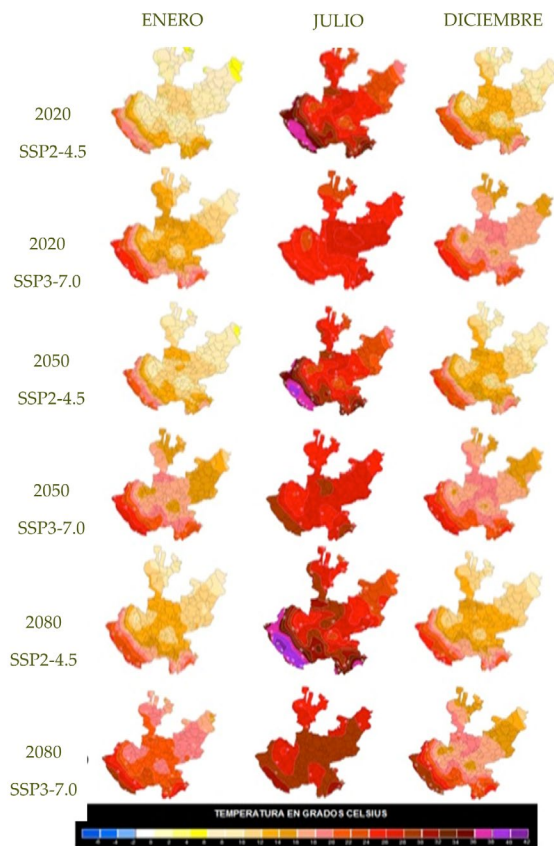


Figura 19. Proyecciones de temperatura mediante modelo PRECIS para los meses de enero, julio y diciembre bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 del IPCC; para 2020, 2050 y 2080.

Región Costa Norte: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento para el período 2000-2090 de 3.0 °C para el temporal y de 3.2 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 2.5 °C en el temporal y 5 °C en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene aumento moderado, llegando a ser de 3% en el temporal y un descenso de 4% en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y sin cambios para el temporal y descensos de hasta 10% en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones aumenta en el temporal y desciende en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y aumentos ligeros en el temporal y descensos altos en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta gradualmente para llegar al final del período a valores entre 3.7 °C para el temporal y de 3.3 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 2.6 °C para el temporal y 5.5 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0.

Región Costa Sur: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento para el período 2000-2090 de 3.0 °C para el temporal y de 3.5 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 5 °C para el temporal y 5.2 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene una tendencia de aumento moderado, llegando a ser un 6% para el temporal y de 8% para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y sin cambios para el temporal y disminución de hasta 4% en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones aumenta en el temporal y desciende en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y aumentos importantes para el temporal y descensos altos para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta gradualmente para llegar al final del período a valores entre 3.6 °C en el temporal y el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 3 °C en el temporal y 5.5 °C en el estiaje en el escenario SSP3-7.0.

Región Ciénega: La tendencia de la temperatura del aire es al incremento para el período 2000-2090 es de 3.0 °C para el temporal y de 3.3 °C para el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 5 °C para el temporal y 5.3 °C para el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La humedad relativa tiene una tendencia de aumento moderado, llegando a ser un 8% en el temporal y disminución del 5% en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y descenso de hasta el 8% en el temporal y de hasta 10% en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La intensidad de las precipitaciones aumenta de manera importante en el temporal y descienden en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y disminución ligera en el temporal y alta en el estiaje en el escenario SSP3-7.0. La temperatura del suelo aumenta para llegar al final del período a valores de 3 °C en el temporal y 3.4 °C en el estiaje en el escenario SSP2-4.5 y de 5.2 °C en el temporal y 5.8 °C en el estiaje en el escenario SSP3-7.0.

Región	T. Aire (°C)		Hum. Rel. (%)		Int. Precip (mm/a)		T. Suelo (°C)	
	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP2-4.5	SSP3-7.0
Centro	↑3-3.5	↑4-5.2	↑6-10	↓9	↓	↓	↑3-3.7	↑4-6
Sur	↑3-3.7	↑4-6	↑5↓6	↓6-15	↓	↓	↑3-3.7	↑4-6
Altos	↑3.5	↑5-5.5	↑6↓6	↓5-11	↓	↓	↑3.6	↑5
Norte	↑3-3.8	↑5	↑7↓7	↓3-10	↓	↓	↑3-4	↑4.5-5
Costa Norte	↑3-3.2	↑2.5-5	↑3↓4	↓10	↓	↓	↑3.7	↑2.6-5.5
Costa Sur	↑3-3.5	↑5-5.2	↑6↑8	↓4	↑↓	↑↓	↑3.6	↑5.5
Ciénega	↑3-3.3	↑5-5.3	↑8↓5	↓8-10	↑↓	↓	↑3-3.4	↑5.2-5.8

Tabla 4 Tendencia de temperatura del aire y suelo, humedad relativa e intensidad de precipitaciones para las diferentes regiones del estado de Jalisco en los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 del IPCC.

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS DIFERENTES SECTORES EN JALISCO

Agua: Disminución de agua en las zonas con estrés hídrico; deficitario en aguas superficiales (Altos y Costa Norte) y subterráneas (Centro, Altos Norte y Ciénega). Fuertes precipitaciones con riesgo de inundación en zonas costeras y urbanas en las primeras décadas, con efecto inverso el resto del siglo. Es probable que conforme avance el siglo, con el aumento de temperatura (0.5 a 5 °C) y disminución en la humedad relativa y las precipitaciones (-20.3%), aumente la extensión de las zonas afectadas por la sequía. Se estima hasta un 30% de disminución de reservas del agua, lo que reducirá la disponibilidad de agua conforme nos acerquemos a final de siglo.

Agricultura: Jalisco es primer y segundo lugar nacional en el 50% de los diez alimentos considerados como productos básicos y estratégicos de México: maíz (1er lugar); caña de azúcar (2do. lugar); huevo (1er. lugar); leche (1er. lugar) y carne de bovinos (2do. lugar); porcinos (1er. lugar), aves (2do. lugar). La región principal donde se encuentra el área de mayor producción de alimentos es Altos Norte, seguido por Ciénega, Valles, Sur y Altos Sur.

En regiones tropicales estacionalmente secas (caso de México y Jalisco), se prevé la disminución del rendimiento de los cultivos incluso cuando la temperatura local aumente solo 1-2 °C, puede aumentar el riesgo de hambruna. Se estima que el incremento de eventos de sequías e inundaciones afecten a la producción local de cultivos, principalmente los sectores de subsistencia (Altos, Norte, Sur y Centro). La Región Altos Norte es considerada como la más vulnerable al cambio climático, además de ser la región más afectada con incremento de siniestralidad en áreas productoras de alimento durante 2005-2010 (Villafán, 2013), llevando a Jalisco al segundo lugar a nivel nacional con mayor incremento en siniestralidad por causas meteorológicas. Para las primeras decenas del siglo un calentamiento moderado, permitirá adaptaciones con la modificación de cultivos y de su período de plantación, lo que permitirá mantener o superar los rendimientos de granos, para posteriormente disminuir conforme se avance al 2100. Jalisco también es el mayor consumidor de fertilizantes nitrogenados del país, lo que provoca otros efectos como la nitrificación de las aguas superficiales y subterráneas y la degradación química de los suelos por acidificación (Curiel y Garibay, 2006). Los impactos afectaran a pequeños propietarios y agricultores de subsistencia. Se prevé que las especies cultivadas experimentarán estrés térmico y no se desarrollarán.

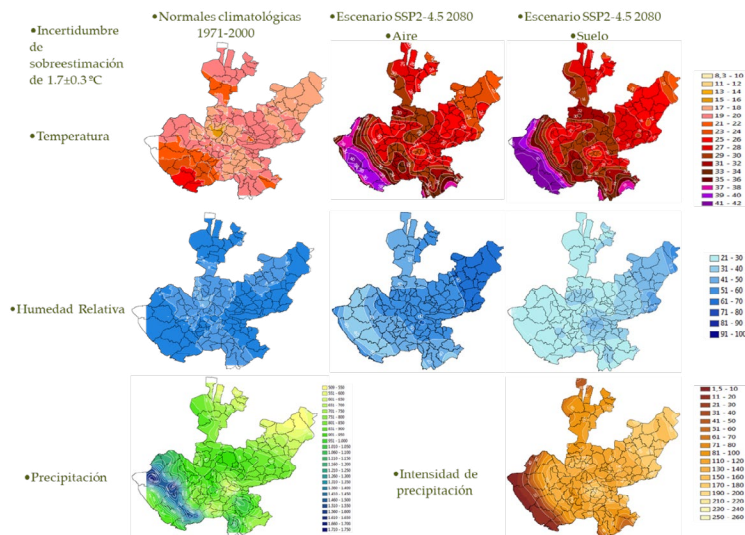


Figura 20. Comparativo de temperaturas, humedad relativa, precipitación e intensidad de precipitación para el estado de Jalisco en el escenario de SSP2-4.5 del IPCC al año 2080, de acuerdo a los modelos regionales.

Ganadería: Con el incremento de temperaturas, disminución en la disponibilidad de agua y alimento; el ganado entrará en estrés térmico y aumento del ritmo respiratorio y cardiaco; en ecosistemas con alta deforestación, incendios forestales, introducción de especies invasoras, entre otros (Altos y Norte). El ganado a temperatura >26 °C experimenta trastornos digestivos que conllevan a la disminución de productividad y capacidad de reproducción. Para el 2080 con temperaturas >42 °C ocurrirá la desaparición de zonas ganaderas (Altos y Norte) producto de estrés térmico, falta de disponibilidad de agua y alimentos, lo que provocará que Jalisco pierda su liderazgo en la producción de lácteos y carne para consumo humano.

Ecosistemas marinos: Se prevé que las costas estén expuestas a erosión costera y aumento del nivel del mar entre 1 y 2 m al 2080, afectando los humedales costeros, marismas y manglares que protegen de eventos extremos y procesos de sedimentación. Las poblaciones se verán afectadas por inundaciones para el 2080 en regiones densamente pobladas como Puerto Vallarta, Riviera Nayarit y Costa Alegre. Se esperan riesgos por tormentas tropicales o hundimiento de las costas locales. Se esperan cambios en la distribución y producción de peces con efectos adversos para la acuicultura y pesquerías debido al calentamiento de las aguas.

Desarrollo urbano: Los asentamientos humanos más vulnerables son los situados en zonas costeras y fluviales inundables, economías relacionadas con recursos sensibles al clima y en zonas proclives a fenómenos meteorológicos extremos donde tiene lugar una rápida urbanización. En Jalisco las zonas afectadas son Centro, Costa Norte, Ciénega, Sur, Altos y Norte; la ZMG, Puerto Vallarta y Lagos de Moreno presentarán la mayor frecuencia de desastres (inundaciones, olas de calor y lluvias intensas).



Biodiversidad: En el transcurso del siglo se estima que entre el 20-30% de especies de plantas y animales estén en mayor riesgo de migración y/o extinción por aumentos de temperatura >3 °C. En Jalisco la vulnerabilidad de la biodiversidad será importante en la Costa Norte, Costa Sur, Sur, Norte y Altos seguida de Centro y Valles, por debilitamiento de ecosistemas, incendios forestales, cambio de uso de suelo, aumento de temperatura > 3 °C y disminución de los recursos hídricos. La vulnerabilidad de la vegetación se dará en Costa Norte, Costa Sur; Sur, Norte y Altos. Los ecosistemas se transforman de permanentes a estacionales y otros desaparecerán.

Energía: El sector energético de Jalisco será afectado por el aumento de la temperatura, mayor demanda de energía, disminución del recurso hídrico debido a la disminución de precipitaciones y aumento de la intensidad de las mismas provocaran la disminución de la producción de energía hidroeléctrica. en las primeras décadas del siglo. Aunque Jalisco no es gran productor de energía, las principales afectaciones serán en la distribución de la misma. Las tormentas e inundaciones afectarán instalaciones de petróleo y gas, el calor incidirá sobre el sistema de distribución eléctrica. El aumento de la temperatura podría recalentar las líneas eléctricas, disminuyendo su capacidad de transmisión y provocando apagones durante las olas de calor. Tormentas más fuertes y frecuentes pondrán en riesgo la infraestructura y fuentes de abastecimiento. Entre más se incrementen la temperatura y falta de precipitaciones, junto con el crecimiento demográfico de las grandes ciudades aumente la demanda de energía para tratar de adaptarse a las nuevas condiciones de temperatura. Las regiones afectadas son las densamente pobladas y que demandan más energía (ZMG, Puerto Vallarta, Lagos de Moreno, Ocotlán, Ciudad Guzmán y Costa Sur), sin embargo, todo el estado estaría en vulnerabilidad energética.

Salud: En las zonas de clima extremo del estado como los Altos y región Norte se prevé reducción de muertes por exposición al frío en las primeras décadas del siglo. En el resto del estado, se prevé efectos negativos en la salud principalmente en las zonas marginadas. Dentro de las enfermedades que pueden presentarse producto del cambio climático están las provocada por aumento de temperatura: presencia de olas de calor, estrés térmico y golpe de calor; las inducidas por altas concentraciones de contaminantes: enfermedades respiratorias y cardio-respiratorias; las enfermedades transmitidas por vectores como dengue, malaria, Zika, Chikungunya, encefalitis, virus del Nilo entre otras; las transmitidas por agua contaminada durante inundaciones como: cólera, cicloespora, leptospirosis, entre otras; y enfermedades neurológicas y/o mentales entre otras. Asimismo, aumento de morbilidad y mortalidad de estas enfermedades por olas de calor, inundaciones y sequías. Los grupos más vulnerables serán los niños, los adultos mayores y personas con enfermedades crónicas y degenerativas. Las poblaciones con mayor vulnerabilidad en salud son las densamente pobladas y las regiones marginadas, como la ZMG, Puerto Vallarta y poblaciones de la Costa Norte y Sur, y Norte.

Vivienda: De acuerdo a las proyecciones de temperatura, humedad relativa e intensidad de precipitaciones para el presente siglo y la tendencia de la vivienda en Jalisco, los riesgos serán: ventilación inadecuada; reducción de la calidad del aire en interiores; posible exposición a CO₂; exposición a fibras aislantes nocivas para la salud; enfermedades infecciosas transmitidas por el aire en habitaciones o espacios climatizados carentes de aire fresco; isla de calor urbana; mayor exposición al ruido y a la contaminación; proliferación bacteriana en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado; repercusiones metabólicas y psicológicas por falta de luz y accidentes domésticos por mala iluminación interior y de proximidad inadecuadas, entre otras.

Transporte: El transporte motorizado en Jalisco sigue creciendo sin control, alimentado por el desmesurado crecimiento de las infraestructuras y por una política que sigue priorizando el transporte privado sobre el transporte público colectivo, y en particular, los medios más insostenibles sobre los más eficientes. Este es la principal causa de la fragmentación de los ecosistemas y uno de los responsables del actual caos en la ordenación del territorio; planificación urbanística y pérdida de calidad de vida. En el estado de acuerdo al acelerado desarrollo urbano y a las actuales políticas de movilidad se estima que el transporte particular siga predominando sobre el público con consecuencias más allá de lo estimado por los escenarios actuales. Las regiones más afectadas serán las más densamente pobladas ZMG, Puerto Vallarta, Lagos de Moreno, Ocotlán y Ciudad Guzmán.

VULNERABILIDAD EN LAS REGIONES DEL ESTADO DE JALISCO

Regiones Costa Norte y Sur: La población de esta región estará expuesta a: estrés hídrico y aumento de la demanda de agua, menor disponibilidad de agua para consumo humano y la agricultura, disminución de la producción agrícola y de silvicultura, aumento de los incendios y sequías, disminución de las áreas cultivables, de la duración de las estaciones de crecimiento vegetativo y del potencial productivo, riesgo en la seguridad alimentaria y exacerbación de la malnutrición, salinización y desertificación de la tierra agrícola. Disminución y desaparición de la ganadería producto del estrés térmico, falta de disponibilidad de agua y alimentos para el ganado, sustitución de especies por otras más resistentes, pérdidas en la elaboración de productos lácteos y de carne para consumo humano, riesgos de inundación en zonas bajas, presencia de mareas de tempestad, erosión y otros riesgos costeros, pérdida de manglares, arrecifes de coral y cambio de ubicación de los bancos de peces, disminución de los recursos pesqueros, pérdida significativa de la biodiversidad en los manglares y bosques vírgenes, pérdida de especies de bosques y pastizales, con la consecuente extinción o migración de las especies de fauna endémicas, riesgo de pérdida significativa de biodiversidad terrestre y marina, mediante la extinción de especies endémicas y proliferación de especies invasoras, la vegetación árida tenderá a reemplazar a la vegetación semiárida, se prevé un aumento de la morbilidad endémica y la mortalidad por enfermedades diarreicas, dengue, influenza, cólera, entre otras, resurgimiento de enfermedades respiratorias, cardiovasculares, de epidermis, transmitidas por vectores, por aguas contaminadas, incremento en el presupuesto destinado a salud que en cierto tiempo sería prácticamente inviable, incrementos en la demanda de calefacción y aire acondicionado en el invierno y verano respectivamente, concentración de la población en zonas urbanas, aumentando el riesgo a impactos mayores por eventos meteorológicos extremos, aumento de la demanda de energía, mayor consumo de combustibles fósiles si no se apuesta a la generación de energías renovables.

Región Altos: Para la región Altos de acuerdo a los resultados obtenidos mediante PRECIS, se esperaría que la población es expuesta a riesgos parecidos a los descritos en los casos de las zonas de Costa Norte y Sur, con la única diferencia de no existir los problemas de aumento de nivel de mar, inundación de zonas costeras, pérdida de especies de flora y fauna marítimas, sin embargo se presentan algunos otros riesgos como: alto déficit hídrico con el incremento de la evapotranspiración y disminución de las precipitaciones, disminución y desaparición de zonas ganaderas producto del estrés térmico, falta de disponibilidad de agua y alimentos para el ganado sustitución de especies ganaderas por otras más resistentes, pérdidas muy importantes en la producción de productos lácteos y de carne para consumo humano en esta zona que es líder a nivel nacional, pérdida de especies de bosques y pastizales de las regiones altas del estado, con la consecuente extinción o migración de las especies de fauna endémicas de la región, disminución en la productividad de cultivos propios de la región como el maíz donde la región es líder, concentración de la población en zonas urbanas aumentando el riesgo a impactos mayores por eventos meteorológicos extremos: sequías extremas, entre otras.

Región Norte: Para la región Norte de acuerdo a los resultados obtenidos, se esperaría que la población de esta región estaría expuesta a los mismas problemáticas ya descritas en el caso de la zona Altos y algunos otros riesgos como: Migración de la población Wixárica a otras zonas con menor rigor climático, pérdida de identidad cultural de la región, inundaciones extraordinarias en las próximas dos décadas y posterior sequía extrema en el resto del siglo, pérdida de pastizales en la región, con la consecuente pérdida o migración de las especies de fauna endémicas, la vegetación árida tenderá a desaparecer, con la consecuente desertificación.

Región Centro: Para la región Centro de acuerdo a los resultados obtenidos, se esperaría que la población de esta región expuesta a los mismas problemáticas ya descritas en el caso de la zona de los Altos, y algunos otros riesgos como: Mayor problemática en la disponibilidad de agua y alimentos, problemas de transporte, vivienda, demanda de energía, desarrollo urbano y salud más importantes que en el resto de las zonas del estado por la mayor concentración de población aumentando el riesgo a impactos mayores por eventos meteorológicos extremos (inundaciones durante las primeras décadas, seguida de deficiencias de agua en el resto del siglo).

Región Sur: En la región Sur de acuerdo a los resultados obtenidos se espera que la población de esta región este expuesta a los mismas problemáticas descritas para la zona de los Altos y algunos otros riesgos como: Mayor problemática en la disponibilidad de agua y alimentos por mayores temperaturas, mayores problemas en la productividad agrícola y ganadera por mayor temperatura y menor disponibilidad de agua y alimentos, problemas críticos de salud, con la presencia de olas de calor, estrés térmico y elevada evapotranspiración, deshidratación, golpe de calor y enfermedades cardiovasculares graves.

Se recomienda, en base a los resultados evidenciados, diseñar y priorizar acciones de adaptación a los efectos del cambio climático en las regiones hidrológicas más vulnerables de México y Jalisco, y con ello el planteamiento de políticas públicas que permitan a las futuras generaciones contar con las condiciones mínimas de sustentabilidad hídrica en el país, donde se blinde las condiciones económicas, seguridad alimentaria, salud, bienestar social, y actividades culturales que pueden verse comprometidas.

CONCLUSIONES

Decálogo de vulnerabilidad de Jalisco ante el cambio climático

1. La temperatura promedio en el estado ha aumentado entre 2 y 5 °C en los últimos 30 años, con una disminución en las precipitaciones de entre 100 y 300 mm en días húmedos. Las proyecciones de los modelos regionales de aquí a finales de siglo estiman un incremento de temperatura para el 2080 de entre 2.5 a 6 °C, la humedad relativa disminuirá entre 4 y 15% y la temperatura del suelo se incrementará entre 2.6 a 6 °C. De igual manera, las precipitaciones descenderán entre 10 a 20%, su intensidad aumentará en los primeros años del siglo, para descender de manera drástica al 2080.
2. Las proyecciones de modelos regionales estiman que para 2080 la temperatura del aire y del suelo alzarán hasta 42 °C en las costas y 32 °C en el resto del estado. La humedad relativa disminuirá en general, con un aumento en las zonas costeras y una disminución en el resto del estado, provocando sequías extremas.
3. La velocidad de precipitación total disminuirá significativamente entre 2030 y 2080. La humedad del suelo disminuirá, siendo del 40% en los Altos de Jalisco y cercana al 0% en el resto del estado para 2080.
4. El estado enfrentará estrés hídrico, con escasez de aguas superficiales (Altos y Costa Norte) y subterráneas (Centro, Altos Norte y Ciénega), habrá riesgo de inundaciones en las primeras décadas. Las reservas de agua disminuirán hasta 30% a finales de siglo.
5. La producción agrícola se verá afectada por sequías e inundaciones, impactando a pequeños agricultores (Altos, Norte, Sur y Centro). La ganadería sufrirá por el aumento de temperaturas, escasez de agua y alimento, lo que podría provocar la desaparición de zonas ganaderas (Altos y Norte) y pérdida del liderazgo en producción de lácteos y carne.
6. Las costas sufrirán erosión y aumento del nivel del mar, afectando humedales y manglares. Se espera un riesgo en el aumento de tormentas y cambios en la distribución de peces, afectando la acuacultura y pesquerías.
7. Desarrollo urbano y biodiversidad: Las zonas urbanas vulnerables enfrentarán riesgos de desastres (Centro, Costa Norte, Ciénega, Sur, Altos y Norte, la ZMG, Puerto Vallarta y Lagos de Moreno). Entre el 20-30% de las especies de plantas y animales podrían estar en riesgo de migración o extinción debido al aumento de temperaturas (> 3 °C) y cambios en los recursos hídricos. En Jalisco la vulnerabilidad de la biodiversidad se presentará en las regiones Costa Norte y Sur, Sur, Norte, Altos, Centro y Valles.
8. Energía y transporte: El sector energético será afectado por aumento de temperatura, mayor demanda y disminución del agua. Las tormentas e inundaciones afectarán instalaciones, el calor afectará el sistema de distribución eléctrica por calentamiento de las líneas eléctricas, disminuyendo su capacidad de transmisión y provocando apagones. Se presentarán tormentas más fuertes y frecuentes que pondrán en riesgo la infraestructura y fuentes de abastecimiento (ZMG, Puerto Vallarta, Lagos de Moreno, Ocotlán y Ciudad Guzmán). El transporte motorizado provocará fragmentación de ecosistemas y caos en la ordenación del territorio; planificación urbanística y pérdida de calidad de vida. El transporte particular predominará sobre el público (ZMG, Puerto Vallarta, Lagos de Moreno, Ocotlán y Ciudad Guzmán).

1.

9. Salud y vivienda: En las zonas Altos y Norte se prevé reducción de muertes por exposición al frío. En el resto del estado, se prevén efectos negativos en la salud, principalmente en las zonas marginadas. Se presentarán de manera importante enfermedades por calor, respiratorias y cardio-respiratorias, transmitidas por vectores y agua contaminada, neurológicas y/o mentales entre otras. Aumentará la morbilidad y mortalidad de estas enfermedades, siendo los más vulnerables los niños, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas y degenerativas (ZMG, Puerto Vallarta, Regiones Costas y Norte). Los riesgos en las viviendas serán ventilación inadecuada, baja calidad del aire, enfermedades transmitidas por el aire, isla de calor, mayor exposición al ruido, proliferación bacteriana en sistemas de climatización, alteraciones metabólicas y psicológicas por falta de luz, entre otras.
10. Así en vista de los posibles efectos del cambio climático en Jalisco es indispensable e impostergable elaborar políticas públicas y acciones para disminuir al mínimo dichas consecuencias. Las políticas y acciones deben ser diferenciadas en cada sector y región del estado de Jalisco, por lo que es necesario poner manos a la obra.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcamo J, Flörke M, Märker M (2007) Future long-term changes in global water resources driven by socioeconomic and climatic changes. *Hydrol Sci J* 52:247–275.
2. CEDRSSA (2019) El cambio climático y el sector agropecuario en México. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. LXIV Legislatura de la Cámara de Diputados. Gobierno de la Republica. Abril 2019. Pp. 11
3. COFEPRIS (2017). Efectos del Cambio Climático y los riesgos derivados para la salud en México. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios | 31 de diciembre de 2017. Cambio climático y salud | Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)
4. CONABIO 2023. México un país megadiverso. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees>
5. CONAGUA (2021) El Reporte Del Clima En México. Reporte Anual 2020 Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua. Pp 98. www.conagua.gob.mx. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>.
6. Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir y L. L. White (eds.) (2014), IPCC, 2014: 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, Cambridge University Press/ Cambridge, Reino Unido / Nueva York.
7. Fischer, G., M. Shah, F. N. Tubiello y H. Van Velhuizen (2005), “Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 360, núm. 1 463, pp. 2067-2083
8. Gulev, S. K., P. W. Thorne, J. Ahn, F. J. Dentener, C. M. Domingues, S. Gerland, D. Gong, D. S. Kaufman, H. C. Nnamchi, J. Quaas, J. A. Rivera, S. Sathyendranath, S. L. Smith, B. Trewin, K. von Shuckmann, R. S. Vose, 2021, Changing State of the Climate System. In: *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.
9. Ichii K, Kawabata A, Yamaguchi Y (2002) 2002: global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982–1990. *Int J Remote Sens* 23: 3873–3878.
10. INE-SEMARNAT-UNAM (2008) El Medio Ambiente en México 2013-2014: Atmósfera Cambio climático. SEMARNAT. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_3.html.
11. IPCC (2007) Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the 4th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

12. IPCC, (2021) Summary for Policymakers. In: 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.)]. In Press.
13. Liverman DM (2001) Vulnerability to drought and climate change in Mexico. In: Kasperson JX, Kasperson R (eds) Global environmental risk. UNU and Earthscan, New York, NY, p 201–216.
14. Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 283-322. Revista Mexicana de Biodiversidad 2013.
15. Magaña V (1999) Los impactos de ‘El Niño’ en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación.
16. Magaña V, Vázquez JL, Pérez JL, Pérez JV (2003) Impact of El Niño on precipitation in México. Geofis Int 42: 313–330.
17. Martínez-Austria P y Patiño-Gómez C (2012) Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. Tecnología y Ciencias del Agua, III: p. 5-20.
18. Mendelsohn, R. y Dinar A. (1999), “Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter?”, The World Bank Research Observer, vol. 14, núm. 2, pp. 277-293.
19. Mendelsohn, R. (2009), “The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries”, Journal of Natural Resources Policy Research, vol. 1, núm. 1, pp. 5-19.
20. Méndez M, Magaña V (2010) Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico. J Clim 23: 1175–1188.
21. Morice, C. P., Kennedy, J. J., Rayner, N. A., W., P., J., Hogan, E., and Killick, R. E. E. A.: An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set, J. Geophys. Res.-Atmos., 126, e2019JD032361, <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>, 2021
22. OECD (2023), Health spending (indicator). doi: 10.1787/8643de7e-en (Accessed on 25 March 2023).
23. OMS. Cambio climático y salud. Centro de prensa. Nota descriptiva n° 266. 2010. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/index.html>.
24. OPS (2023), Determinantes sociales y ambientales de la Salud México 2022. Organización Panamericana de la Salud. <https://hia.paho.org/es/paises-2022/perfil-mexico>.
25. Ramírez-Sánchez HU, Fajardo-Montiel AL., García-Guadalupe ME., (2021). Changes in the temperature of the Guadalajara Metropolitan Zone, México under climate change scenarios/ Cambios en la temperatura de la zona metropolitana de Guadalajara, México bajo escenarios de cambio climático. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research.

26. Ramírez-Sánchez HU, Fajardo-Montiel AL, García Guadalupe ME (2021) Climatology and vulnerability to climate change in the “Altos de Jalisco” region, México. *Ann Environ Sci Toxicol* 5(1): 001-011. DOI: <https://dx.doi.org/10.17352/aest.000029>
27. Ramírez-Sánchez HU, Fajardo-Montiel. AL., Ortiz-Bañuelos. AD., & De la Torre-Villaseñor (2022a). Impacts of Climate Change on the Water Sector in Mexico. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 17(2), 37–57. <https://doi.org/10.9734/ajee/2022/v17i230289>
28. Ramírez-Sánchez HU, Fajardo-Montiel. AL., Ortiz-Bañuelos. AD., & De la Torre-Villaseñor O. (2022b). The Agricultural Sector and Climate Change in Mexico. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 23(3), 19–44. <https://doi.org/10.9734/jaeri/2022/v23i330222>
29. Ramírez-Sánchez HU, Fajardo-Montiel. AL., Ortiz-Bañuelos. AD., Castellanos-Tadeo CA., & De la Torre-Villaseñor O. (2023a). Climate Change and Its Impact on Human Health in Mexico. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(6), 219–243. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i61819>
30. Ramírez-Sánchez HU, Fajardo-Montiel AL., Garcia-Guadalupe ME., Ulloa-Godínez HH. (2023b). Climate Change and Its Impacts on Biodiversity in Mexico. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 20(4), 29–54. <https://doi.org/10.9734/ajee/2023/v20i4446>
31. IUCN 2023. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>.
32. Voituriez, B. y Jacques, G (2000) *El Niño. Realidad y Ficción*. París: UNESCO, 2000, 142 pp.
33. Wilder M, Scott CA, Pineda N, Varady RG, Garfin GM, McEvoy J (2010) Adapting across boundaries: climate change, social learning, and resilience in the United States–Mexico border region. *Ann Assoc Am Geogr* 100: 917–920.
34. World Bank Group (2021) Climate change knowledge portal (CCKP) climateknowledgeportal.worldbank.org.



CENTRO DE ESTUDIOS
ESTRATÉGICOS PARA EL DESARROLLO

JALISCO A FUTURO

CENTRO DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS PARA EL DESARROLLO
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



IAM | INSTITUTO DE ASTRONOMÍA
Y METEOROLOGÍA

